



**Universidade de Brasília - UnB
Faculdade UnB Gama - FGA
Curso de Engenharia de Energia**

**MEDIÇÃO E VERIFICAÇÃO: UMA ANÁLISE DA
UTILIZAÇÃO DE SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL
PARA AVALIAR OS RESULTADOS DA EFICIÊNCIA
ENERGÉTICA**

**Autor: João Pedro Alemonge Honorato
Orientadora: Loana Nunes Velasco**

**Brasília, DF
2019**



João Pedro Alemonge Honorato

**MEDIÇÃO E VERIFICAÇÃO: UMA ANÁLISE DA UTILIZAÇÃO DE
SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL PARA AVALIAR OS RESULTADOS
DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA**

Monografia submetida ao curso de graduação em Engenharia de Energia da Universidade de Brasília, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia de Energia.

Orientadora: Prof. Dra. Loana Nunes Velasco

**Brasília, DF
2019**

CIP – Catalogação Internacional da Publicação*

HONORATO, João Pedro Alemonge.

Medição e verificação: Uma análise da utilização de simulação computacional para avaliar os resultados da eficiência energética/ João Pedro Alemonge Honorato. Brasília: UnB, 2019. 152 p. : il. ; 29,5 cm.

Monografia (Graduação) – Universidade de Brasília Faculdade do Gama, Brasília, 2019. Orientação: Loana Nunes Velasco

1. Eficiência Energética. 2. Medição e Verificação. 3. PIMVP I.
VELASCO, Loana Nunes. II.

Medição e verificação: Uma análise da utilização de simulação computacional para avaliar os resultados da eficiência energética
CDU Classificação



MEDIÇÃO E VERIFICAÇÃO: UMA ANÁLISE DA UTILIZAÇÃO DE SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL PARA AVALIAR OS RESULTADOS DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

João Pedro Alemonge Honorato

Monografia submetida como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia de Energia da Faculdade UnB Gama - FGA, da Universidade de Brasília, em 12/12/2019 apresentada e aprovada pela banca examinadora abaixo assinada:

Prof. Dra: Loana Nunes Velasco, UnB/ FGA
Orientadora

Prof. Dr.: Alex Reis, UnB/ FGA
Membro Convidado

Prof. Dra.: Tallita Karolline Nunes Rocha, UnB/FGA
Membro Convidado

Eng.: Junio Agostinho de Matos, CEB-D
Membro Convidado

Brasília, DF
2019

Dedico este trabalho a todos aqueles que me apoiaram e me ajudaram a chegar até aqui.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos que direta ou indiretamente me ajudaram a chegar até aqui me apoiando nos momentos difíceis e celebrando comigo minhas vitórias. Sem vocês nada teria sido possível.

Em especial agradeço a minha família por todo o apoio nestes anos e pela motivação para eu continuar. Obrigado pelo imenso carinho, amor e por sempre acreditarem em meu potencial mesmo quando eu não acreditava.

Agradeço a minha orientadora, Loana, por toda a orientação e esforço que tornaram este trabalho possível. Obrigado por me mostrar o que é ser um profissional e querer ser um profissional melhor.

Agradeço a equipe de engenharia e arquitetura da Polícia Federal pela oportunidade de realizar meu primeiro estágio, por me apoiar e mostrar o que é ser um engenheiro de verdade. Agradeço em especial a meu supervisor Renato por seus conselhos e pelo engajamento em ensinar como a engenharia funciona.

Agradeço a companhia de distribuição CEB-D pelo apoio ao trabalho em especial aos engenheiros Elias e Junior que auxiliaram e orientaram o programa de eficiência energética da Universidade de Brasília responsável pelas ações abordadas neste trabalho. O presente estudo foi realizado no âmbito do Programa de P&D da ANEEL, na Chamada ANEEL Nº 001/2016 "Projeto Prioritário de Eficiência Energética e Estratégico de P&D: Eficiência Energética e Minigeração em Instituições Públicas de Educação Superior", e do Termo de Cooperação Técnica 502/2018, celebrado entre CEB Distribuição S.A. e Fundação Universidade de Brasília, intitulado "Geração Distribuída no Campus da Universidade de Brasília Integrada à Rede de Distribuição da CEB"

Por fim agradeço a todos que me inspiraram neste caminho e me deram motivos para continuar por esta jornada.

“And be a simple kind of man
Be something you love and understand
Baby, be a simple kind of man
Won't you do this for me, son
If you can?”

Lynyrd Skynyrd.

RESUMO

O procedimento de medição e verificação (M&V) é o processo que visa calcular de forma confiável, precisa e de modo passível de reprodução os resultados de economia de energia resultantes de uma ação de eficiência (AEE) energética. Conferir credibilidade e demonstrar que ações de eficiência energéticas são maneiras efetivas de se racionalizar o consumo de energia e reduzir os custos operacionais das edificações apresentam grande importância para o desenvolvimento destas práticas e nesse cenário o procedimento de M&V ganha destaque. Assim, o presente trabalho visa apresentar as metodologias vigentes de M&V, suas peculiaridades e como podem ser aplicadas tendo como foco realizar o estudo de caso do projeto de eficiência energética implementado na faculdade de Tecnologia da Universidade de Brasília aplicando a Opção D, que consiste na simulação computacional calibrada deste edifício, para avaliar os ganhos obtidos. A simulação foi realizada no *software* Design Builder® com o intuito de analisar as alterações realizadas no sistema de iluminação e no sistema de condicionamento ambiental obtendo os resultados para a economia de energia do projeto tanto para ambientes pontuais quanto para o edifício como um todo.

Palavras chave: Eficiência energética, medição e verificação, simulação computacional, economia de energia, método D, simulação Termoenergética e simulação luminotécnica.

ABSTRACT

The measurement and verification procedure (M&V) is a process that aims calculate the energy saving results resulting from an energy efficiency action (EEA) in order to keep the process reliably, accurately and reproducibly. Ensure credibility and demonstrate the fact that energy efficiency actions are effective ways to rationalize energy consumption and reduce the operating costs of buildings shows great importance for the development of the practices and in this scenario the M&V procedure is highlighted. Thus, the present work aims to present the current M&V methodologies, their peculiarities and how they can be applied, with a focus on carrying out the study case of the energy efficiency project implemented at the Faculdade de tecnologia of the Universidade de Brasília applying Option D, Which consists of calibrated computational simulation of this building, to evaluate the gains obtained. The simulation was performed using Design Builder® software to analyze the changes made to the lighting system and environmental conditioning system obtained the results for energy savings in the punctual environments and for the whole building.

Key words: energy efficiency, measurement and verification, computer simulation, energy saving, method D, Thermoenergetic simulation and luminotechnical simulation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE)	22
Figura 2: Selo PROCEL de Economia de Energia	22
Figura 3: Exemplo de Histórico de Energia. Fonte (EVO, 2012)	28
Figura 4: Exemplo de fronteira de medição. Fonte do Autor.	29
Figura 5: Resumo dos métodos de M&V. Fonte do Autor.	33
Figura 6: Esquemático de escolha do método de M&V. Adaptado de EVO, 2012.	39
Figura 7: Logo dos softwares Design Builder e Energy plus.	44
Figura 8: Logo Dialux®.	45
Figura 9: Principais softwares de simulação luminotécnica. Fonte: (IEA, 2016)	46
Figura 10: Modelo de Iluminação Sala de Aula. (A) Sala de aula da FT. (B) Sala de aula desenhada computacionalmente. Fonte: Do Autor.	65
Figura 11: Modelo de Iluminação Sala Administrativa. (A) Sala administrativa da FT. (B) Sala administrativa desenhada computacionalmente. Fonte: Do Autor.	66
Figura 12: Modelo de Iluminação Sala de Professor. (A) Sala de Professor da FT. (B) Sala de professor desenhada computacionalmente. Fonte: Do Autor.	67
Figura 13: Simulação Termoeenergética da Sala de Aula. Fonte: Do Autor.	70
Figura 14: Simulação Termoeenergética Sala Administrativa. Fonte: Do Autor.	71
Figura 15: Simulação Termoeenergética Sala de Professor. Fonte: Do Autor.	71
Figura 16: Consumo de Energia Sala de Aula Antes do Retrofit.	76
Figura 17: Consumo de Energia Sala Administrativa Antes do Retrofit.	77
Figura 18: Consumo de Energia na Sala de Professor Antes do Retrofit.	78
Figura 19: Consumo de energia na Sala de Aula Após o Retrofit.	79
Figura 20: Consumo de Energia Sala Administrativa Após o Retrofit.	80
Figura 21: Consumo de Energia na Sala de Professor Após o Retrofit.	81
Figura 22: FT1 – Bloco de engenharia elétrica. Fonte do autor.	93
Figura 23: FT2 – Bloco de Engenharia Civil. Fonte do Autor.	93
Figura 24: FT3 – Bloco de engenharia Mecânica. Fonte do Autor.	94
Figura 25: FT4 – Bloco administrativo e bloco da engenharia de produção. Fonte do Autor.	94
Figura 26: FT5 – Bloco de laboratórios da mecânica. Fonte do Autor.	95
Figura 27: FT6 – Bloco de redes. Fonte do autor.	95
Figura 28: FT7 – Bloco de engenharia florestal. Fonte do autor.	96
Figura 29: Consumo de energia por sistema no decorrer do ano. Fonte do Autor.	99
Figura C1: Exemplo de histórico de energia. Fonte (EVO, 2012)	147

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Principais Barreiras na difusão da eficiência energética. Adaptado de IEA, 2011. .	24
Tabela 2: Objetivos de um processo de Medição e verificação. Adaptado de EVO, 2012.....	27
Tabela 3: Substituição da Iluminação. Fonte: Do Autor.	49
Tabela 4: Substituição dos Ares condicionados. Fonte: Do Autor.....	50
Tabela 5: Estimativa de Horas de funcionamento de cada ambiente. Fonte: Do Autor.....	52
Tabela 6: Estimativa de dias de funcionamento de cada ambiente. Fonte: Do Autor.....	52
Tabela 7: Estimativa de funcionamento em Ponta de cada ambiente. Fonte: Do Autor.	53
Tabela 8: Exemplo de Organização dos Cálculos de Iluminação.	54
Tabela 9: Coeficiente de funcionamento do ar condicionado em função do clima. Fonte: Do Autor. .	56
Tabela 10: Exemplo de Organização dos Cálculos do Sistema de Ar Condicionado.	58
Tabela 11: Amostras medidas para o M&V do sistema de iluminação.....	59
Tabela 12: Amostras para medição e verificação dos ares condicionados.....	61
Tabela 13: Economia de Energia e Redução de Potência em Ponta no Sistema de Iluminação.	75
Tabela 14: Ganhos teóricos da AEE no Sistema de Condicionamento Ambiental.	75
Tabela 15: Resumo dos resultados para o sistema de iluminação antes do retrofit.....	78
Tabela 16: Resumo dos resultados para o sistema de iluminação depois do retrofit.	81
Tabela 17: Economia de energia simulada para o sistema de iluminação.....	82
Tabela 18: Exemplo de saída de dados do designer builder. Fonte do autor.	82
Tabela 19: Consumo de energia simulado para sala de aula no período antes do retrofit.....	83
Tabela 20: Consumo de energia simulado para sala administrativa no período antes do retrofit.	84
Tabela 21: Consumo de energia simulado para sala de professor no período antes do retrofit.	84
Tabela 22: Consumo de energia simulado para sala de aula no período depois do retrofit.	85
Tabela 23: Consumo de energia simulado para sala administrativa no período depois do retrofit.	85
Tabela 24: Consumo de energia simulado para sala de aula no período depois do retrofit.	86
Tabela 25: Resultados da economia de energia para as salas modelo.	86
Tabela 26: Subdivisões da FT para simulação.	87
Tabela 27: Economia de Energia e Redução de Potência em Ponta no Sistema de Iluminação.	88
Tabela 28: Ganhos Globais da AEE no Sistema de Condicionamento Ambiental.	89
Tabela 29: Resultados teóricos para o bloco FT1.....	97
Tabela 30: Consumo de energia simulado para FT1 no período antes do retrofit.....	97
Tabela 31: Consumo de energia simulado para FT1 no período antes do retrofit.....	98
Tabela 32: Economia de energia simulada para FT1 no período antes do retrofit.	98
Tabela 33: Resultados teóricos para o bloco FT2.....	100
Tabela 34: Consumo de energia simulado para FT2 no período antes do retrofit.....	100
Tabela 35: Consumo de energia simulado para FT2 no período antes do retrofit.....	101
Tabela 36: Economia de energia simulada para FT2 no período antes do retrofit.	101
Tabela 37: Resultados teóricos para o bloco FT3.....	102
Tabela 38: Consumo de energia simulado para FT3 no período antes do retrofit.....	102
Tabela 39: Consumo de energia simulado para FT3 no período antes do retrofit.....	102
Tabela 40: Economia de energia simulada para FT3 no período antes do retrofit.	103
Tabela 41: Resultados teóricos para o bloco FT4.....	104
Tabela 42: Consumo de energia simulado para FT4 no período antes do retrofit.....	104
Tabela 43: Consumo de energia simulado para FT4 no período antes do retrofit.....	104
Tabela 44: Economia de energia simulada para FT4 no período antes do retrofit.	105

Tabela 45: Resultados teóricos para o bloco FT5.....	105
Tabela 46: Consumo de energia simulado para FT5 no período antes do retrofit.....	106
Tabela 47: Consumo de energia simulado para FT5 no período antes do retrofit.....	106
Tabela 48: Economia de energia simulada para FT5 no período antes do retrofit.....	106
Tabela 49: Resultados teóricos para o bloco FT6.....	107
Tabela 50: Consumo de energia simulado para FT6 no período antes do retrofit.....	107
Tabela 51: Consumo de energia simulado para FT6 no período antes do retrofit.....	107
Tabela 52: Economia de energia simulada para FT6 no período antes do retrofit.....	108
Tabela 53: Resultados teóricos para o bloco FT7.....	108
Tabela 54: Consumo de energia simulado para FT7 no período antes do retrofit.....	109
Tabela 55: Consumo de energia simulado para FT7 no período antes do retrofit.....	109
Tabela 56: Economia de energia simulada para FT7 no período antes do retrofit.....	109
Tabela 57: Economia de energia global do projeto.	110
Tabela A1:Tabela resumo para cálculo da estimativa de consumo do sistema antes do retrofit.	114
Tabela A2: Tabela resumo para cálculo da estimativa de consumo do sistema depois do retrofit.	115
Tabela A3: Consumo de energia FT1	116
Tabela A4: Consumo de energia FT2.....	117
Tabela A5: Consumo de energia FT3.....	117
Tabela A6: Consumo de energia FT4.....	118
Tabela A7: Consumo de energia FT5.....	118
Tabela A8: Consumo de energia FT6.....	119
Tabela A9: Consumo de energia FT7.....	119
Tabela B1: Resumo dos Cálculos do Sistema de Ar Condicionado.....	120
Tabela B2: Resumo dos Cálculos do Sistema de Ar Condicionado depois do retrofit.	130
Tabela B3: Divisão de ares por macro bloco.....	140
Tabela C1: Identificação do Projeto	141
Tabela C2: Substituição da Iluminação.	142
Tabela C3: Substituição dos Ares condicionados.....	142
Tabela C4: Resumo dos resultados esperados com as AEE's.	143
Tabela C5: Exemplo de informação de Medição.	151

LISTA DE SIGLAS

ABRESCO	Associação brasileira de empresas de serviço de conservação de energia
AEE	Ação de eficiência energética
ANEEL	Agência nacional de energia elétrica
DOE	Departamento de energia dos estados unidos da américa
EE	Eficiência energética
EPE	Empresa de pesquisa energética
EVO	<i>Efficiency valuation organisation</i>
IEA	<i>International energy agency</i>
INMETRO	Instituto nacional de metrologia, qualidade e tecnologia
INEE	Instituto nacional de eficiência energética
LED	<i>Light emitting diode</i>
M&V	Medição e verificação
PBE	Programa brasileiro de etiquetagem
PIMVP	Protocolo internacional de medição e verificação de performance.
PROCEL	Programa nacional de conservação de energia elétrica

Sumário

1. INTRODUÇÃO	16
1.1 Objetivos	17
1.1.1 Objetivo Geral	17
1.1.2 Objetivos específicos	18
1.2 Metodologia	18
1.3 Estrutura do Trabalho	19
2. Eficiência Energética.....	20
2.1 Eficiência energética no Brasil	20
2.2 Principais barreiras da eficiência energética	23
3. Medição e Verificação.....	26
3.1 Estrutura e Conceitos básicos do processo de medição e verificação.	28
3.1.1 Fronteira de Medição	29
3.1.2 Período da linha de base.....	29
3.1.3 Período de determinação da economia	30
3.1.4 Bases para ajustes	30
3.1.5 Variáveis independentes e Fatores estáticos.....	31
3.1.6 Efeitos interativos.....	31
3.1.7 Incerteza	31
3.2 Opções de Medição e Verificação do PIMVP	32
3.2.1 Opção de Medição e Verificação A	33
3.2.2 Opção de Medição e Verificação B.....	34
3.2.3 Opção de Medição e Verificação C.....	35
3.2.4 Opção de Medição e Verificação D	36
3.3 Escolha da Opção de Medição e Verificação	37
4. Metodologia.....	40
4.1 Metodologia de aplicação da opção A	40
4.2 Metodologia de aplicação da opção B	41
4.3 Metodologia de aplicação da opção C	42
4.4 Metodologia de aplicação da opção D	43
4.4.1 <i>Software</i> para simulação Termoenergética e de consumo de energia.	43
4.4.2 <i>Software</i> para simulação Luminotécnica.....	44
4.5 Plano de Medição e Verificação.	47
5. Estudo de Caso: Faculdade de Tecnologia – UnB.....	49

5.1	Potencial Teórico de Economia de Energia	51
5.1.1	Potencial Teórico de Economia de Energia na Iluminação	51
5.1.2	Potencial Teórico de Economia de Energia no Sistema de Ares Condicionados.....	55
5.2	Aplicação do Método A e B na Faculdade de Tecnologia	59
5.2.1	Opção A para Medição do Sistema de Iluminação	59
5.2.2	Opção B para Medição do Sistema de Ar Condicionado.	61
5.3	Opção D para avaliação da economia de energia	62
5.3.1	Simulação Luminotécnica	63
5.3.2	Simulação Termoenergética	69
6.	Resultados e Discussões Obtidos com a Calibração dos Ambientes Modelos	74
6.1	Resultados teóricos da economia de energia para os ambientes modelo.....	74
6.1.1	Resultados Teóricos Esperados para os Ambientes Modelo: Sistema de Iluminação...	74
6.1.2	Resultados Teóricos Esperados: Sistema de Condicionamento Ambiental.	75
6.2	Resultados das Simulações Luminotécnicas.....	76
6.3	Resultados das Simulações Termoenergéticas	82
7.	Metodologia para Confeção das simulações globais.....	87
7.1	Resultados teóricos da economia de energia.	88
7.1.1	Resultados Teóricos Esperados: Sistema de Iluminação.....	88
7.1.2	Resultados Teóricos Esperados: Sistema de Condicionamento Ambiental.	89
7.2	Construção dos modelos computacionais globais	93
8.	Resultados e Discussões para as Simulações Globais.....	97
8.1	Resultados Obtidos com a Simulação da FT1	97
8.2	Resultados obtidos com a simulação da FT2.....	100
8.3	Resultados obtidos com a simulação da FT3.....	102
8.4	Resultados obtidos com a simulação da FT4.....	104
8.5	Resultados obtidos com a simulação da FT5.....	105
8.6	Resultados obtidos com a simulação da FT6.....	107
8.7	Resultados obtidos com a simulação da FT7	108
8.8	Economia de Energia obtida com o projeto	110
9.	Conclusão	111
	Bibliografia.....	112
	Apêndice A: Cálculos da economia teórica para o sistema de iluminação	114
	Apêndice B: Cálculos da economia teórica para o sistema de ar condicionado	120
	Apêndice C: Plano de M&V	141

1. INTRODUÇÃO

No decorrer da história, a humanidade vem utilizando os recursos energéticos naturais para aumentar sua produtividade, qualidade de vida e desenvolver suas civilizações. Dentre estes recursos a eletricidade assumiu grande importância nos últimos séculos, culminando em um consumo de cerca de 25,5 mil TWh de energia em 2017, o que representa um aumento de 2,8% em relação ao ano anterior e ficando acima da média dos últimos dez anos. (*British Petroleum*, 2018).

O crescente aumento na demanda de energia elétrica traz a necessidade de investimentos na geração de energia e no desenvolvimento de novas fontes energéticas. Contudo, esta não é a única solução para atender ao crescimento da demanda. Estudos realizados pela Associação Brasileira de Empresas de Serviço de Conservação de Energia (ABESCO) apontam que é cerca de quatro vezes mais barato economizar 1 MWh do que gerar um. (ABESCO, 2017).

Assim, a eficiência energética ganha destaque como uma alternativa para reduzir a demanda mundial de energia. Ela é definida como a capacidade de realizar a mesma tarefa utilizando menos energia e é composta por um conjunto de medidas como, por exemplo, trocas de equipamentos por modelos mais eficientes, programas de etiquetagem e medidas de conscientização sobre o tema. (*US National Policy Development Group*, 2001).

Seguindo a tendência mundial de criação de políticas públicas de eficiência energética, o Brasil iniciou seu fomento ao setor em 1981 com a criação do programa Conserve que visava promover a racionalização do uso de energia na indústria e desenvolver produtos mais eficientes. Porém, foi a partir de 2001 que os programas de eficiência energética ganharam força e o principal marco regulatório da área foi publicado. (Altoé et al. 2017). A lei n.10.295/2001 lançou a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia, estabelecendo que o poder executivo é o responsável por desenvolver mecanismos que promovam a eficiência energética de máquinas e equipamentos utilizados no país. (Brasil, 2001).

A economia de energia promovida por uma ação de eficiência energética não pode ser medida de forma direta por se tratar de uma demanda de energia que foi evitada. Além disso, os reais benefícios do projeto podem ser encobertos devido a alterações no padrão de uso do sistema ou pela adição de novas cargas. Dessa forma, para constatar se a eficiência energética é ou não obtida por uma ação é preciso medir os resultados relacionados com a redução do consumo de energia no sistema em questão e os ganhos associados. (EVO, 2019).

Visando padronizar o processo de Medição e Verificação (M&V) dos resultados de ações de eficiência energética, o Departamento de Energia dos Estados Unidos (DOE) liderou os esforços para estabelecer um padrão internacional que permitisse determinar os ganhos destes projetos e conferisse credibilidade as ações. Em 1997 foi criada a primeira versão do Protocolo Internacional de Medição e Verificação de Performance (PIMVP) que estabeleceu os requisitos para medir os efeitos da eficiência energética. (INEE, 2019).

O processo de M&V consiste no planejamento, medição, coleta e análise de dados com o objetivo de verificar e informar a redução do consumo de energia proveniente de uma ação de eficiência energética. Desta forma é possível provar que os benefícios propostos na ação foram atingidos e conferir credibilidade aos projetos. Além disso, quando propriamente integrado este processo ajuda a manter a economia adquirida no projeto e melhorar a eficiência da instalação definindo linhas de base de utilização, monitoramento dos sistemas e indicando alterações nos padrões de uso. (EVO, 2019).

O PIMVP fornece quatro metodologias para realização do M&V (A, B, C e D) cada qual com suas particularidades de modo que a escolha entre as opções depende das características da ação realizada e do que se planeja medir. (EVO, 2012).

Tendo em vista a complexidade envolvida no processo de validação dos resultados de uma ação de eficiência energética, o presente trabalho de conclusão de curso tem o objetivo de apresentar as quatro metodologias de M&V com o intuito de abordar suas peculiaridades e mostrar suas possibilidades de aplicação. Além disso, será realizado um estudo de caso utilizando como base o projeto de eficiência energética realizado pela Universidade de Brasília na Faculdade de Tecnologia (FT) e aplicando o método D para calcular os resultados do projeto.

Para tal foram levantados os dados de utilização, potência e envoltória de modo a calibrar as simulações propostas. Na sequência, realizou-se simulações de ambientes pontuais visando validar os modelos criados e permitir que em seguida fosse possível ampliar a simulação e modelar o edifício como um todo. Por fim, foram calculados os consumos de energia antes e após o projeto de modo a obter a economia de energia obtida pelo projeto.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo Geral

Aplicar o método de medição e verificação de simulação calibrada, seguindo os requisitos do PIMVP, para avaliar a economia de energia proveniente das ações de eficiência energética dos sistemas de iluminação e condicionamento de ar realizadas na Faculdade de Tecnologia da Universidade de Brasília.

1.1.2 Objetivos específicos

- Calcular o consumo de energia dos sistemas de iluminação e condicionamento de ar antes e depois da implementação das medidas de eficiência energética de modo teórico;
- Realizar simulações pontuais de ambiente comuns da faculdade de tecnologia visando validar o modelo computacional;
- Realizar a simulação do edifício como um todo visando obter o consumo de energia para o período anterior e posterior as medidas de eficiência energética;
- Calcular a incerteza agregada aos resultados;
- Calcular a economia de energia obtida com o projeto.

1.2 Metodologia

Inicialmente, foi realizado o levantamento bibliográfico de artigos, relatórios e teses na área com o intuito de criar o embasamento teórico necessário para a realização do trabalho. Além disso, foram avaliados os requisitos do PIMVP e do manual de medição e verificação da ANEEL para aplicação dos métodos de medição e verificação.

Após esta fase foram realizadas visitas técnicas a Faculdade de Tecnologia (FT) visando levantar a taxa de ocupação dos ambientes, seu período de funcionamento, equipamentos presentes e os dados técnicos das lâmpadas e ares condicionados. A partir dos dados de placa foi possível obter a potência das lâmpadas e reatores, assim como, o coeficiente de performance dos ares condicionados.

Em seguida foram realizadas as construções dos modelos computacionais de ambientes comuns da Faculdade de Tecnologia para realização das simulações necessárias à aplicação do método D de M&V. Nas simulações pontuais realizadas, foram adotados os dados coletados durante as visitas para sua calibração. Neste trabalho será chamado de “modelo teórico” o modelo que emprega os dados de placa do equipamento já que estes apresentam as condições

de funcionamento padrão em laboratório e podem não apresentar o valor dos parâmetros reais de funcionamento do equipamento no ambiente analisado.

As simulações pontuais serão usadas para validar a metodologia de modelagem dos ambientes de modo a confirmar que é possível expandir os modelos de modo a simular todo o edifício da faculdade de tecnologia e realizar a simulação global de consumo dos sistemas de iluminação e condicionamento ambiental.

Além disso, após a calibração dos ambientes pontuais, o modelo foi expandido de modo a simular o edifício como um todo obtendo o consumo global de energia da edificação para o período anterior e posterior as ações de eficiência energética.

Por fim, utilizou-se o procedimento exposto no PIMVP para calcular a economia de energia e a incerteza agregada ao processo.

1.3 Estrutura do Trabalho

O presente trabalho está estruturado em oito partes. A primeira aborda o panorama atual da eficiência energética no Brasil e no mundo contextualizado está medida de conservação de energia e apresentando seu processo de implementação, além de introduzir a importância da etapa de medição e verificação para as ações de eficiência energética.

Em seguida, é abordado o processo de medição e verificação realizando uma revisão bibliográfica dos requisitos necessários para sua implementação e detalhando os métodos de medição para validação dos resultados de uma ação de eficiência energética.

No terceiro capítulo é apresentada a metodologia aplicada para avaliação dos resultados das ações de eficiência segundo cada opção do PIMVP tendo o método D como destaque e enfoque.

Na quarta parte é apresentado o estudo de caso do projeto e definido as bases para realização da calibração das simulações computacionais dos ambientes modelo. Na seção seguinte são apresentados os resultados obtidos para os ambientes modelo a partir de cálculos teóricos e das simulações.

Já a sexta parte apresenta como foi realizada a modelagem da edificação e são apresentados os cálculos teóricos para a edificação como um todo. A sétima parte apresenta os resultados globais obtidos a partir das simulações, assim, como o cálculo de incerteza e economia de energia. A última seção apresenta as conclusões obtidas a partir da aplicação do método D e as perspectivas para prosseguimento do trabalho.

2. Eficiência Energética

A eficiência energética (EE) é a utilização racional da energia de modo a realizar a mesma tarefa empregando menos recursos energéticos sem comprometer seus resultados. As ações de eficiência energética (AEE) podem envolver a substituição de tecnologias por modelos mais eficientes, melhorias dos processos de produção, monitoramento do consumo de energia e aproveitamento dos fatores naturais para reduzir a pressão sobre os sistemas artificiais de uma instalação, como por exemplo, o aproveitamento da luz natural. (ASSUNÇÃO E SHUTZE, 2017).

Segundo a Agência Internacional de Energia (IEA – do inglês *International Energy Agency*) em seu relatório “*Energy Efficiency*” de 2018 aponta que as medidas de eficiência energética têm o potencial de reduzir a demanda mundial energia elétrica e energia primária reduzindo a pressão sob a expansão da oferta de energia. Além, de assegurar um sistema energético econômico e confiável, as AEE podem estimular o crescimento econômico e reduzir as emissões de gases de efeito estufa.

Na década de 70, devido à crise do petróleo, surgiram preocupações com a escassez de energia devido a redução do fornecimento de petróleo de modo que os países começaram a buscar novas fontes energéticas e buscar formas de reduzir o desperdício de energia elétrica criando políticas de racionalização de seu uso. (ASSUNÇÃO E SHUTZE, 2017). Neste contexto surgiram as primeiras medidas de eficiência energética estruturadas e criou-se a base para o desenvolvimento da área.

2.1 Eficiência energética no Brasil

No Brasil, as ações de eficiência energética não foram pautadas por um planejamento de longo prazo estruturado, mas sim realizadas de forma relativa em resposta a momentos de dificuldade no suprimento da demanda de energia. A legislação nacional decorreu da crise internacional do petróleo na década de 70 seguindo o impacto da crise de financiamento internacional da década de 80 e recentemente impulsionada pelo cenário de racionamento de energia ocorrido em 2001. (ASSUNÇÃO E SHUTZE, 2017).

Em 1975, ocorreu a primeira ação na direção de criar uma política pública de racionalização do consumo de energia com o seminário sobre o tema organizado pelo

Ministério de Minas e Energia (MME). Porém, apenas em 1981 foi criado o CONSERVE, primeiro programa Brasileiro voltado para implementação de ações de eficiência energética, tendo o objetivo de promover a conservação de energia na indústria desenvolvendo equipamentos mais eficientes e incentivando o uso de fontes alternativas de energia. (ASSUNÇÃO E SHUTZE, 2017).

O programa CONSERVE obteve importantes resultados sendo responsável por uma queda de 18% do consumo de óleo combustível em seu primeiro ano. Porém, foi indiretamente responsável por transferir a responsabilidade da conservação de energia para o setor elétrico que sofreu diretamente com a crise internacional de financiamento impedindo que o programa atingisse o potencial pleno de ação previsto inicialmente. (SOUZA et al, 2011).

Assim, foi substituído em 1985 pelo programa nacional de conservação de energia elétrica que deu origem ao PROCEL (Programa de Combate ao Desperdício de Energia Elétrica). Já em 1991, o PROCEL foi transformado em programa de governo, adquirindo mais responsabilidade e unindo todos os segmentos da sociedade ligados ao uso e produção de energia de modo a aumentar a eficiência de seu uso. (SOUZA et al, 2011).

O PROCEL visou ações sistemáticas de racionalização do consumo energético criando mecanismos de orientação da sociedade quanto a efetividade das ações de conservação de energia. Além disso, trabalhou no desenvolvimento de estudos sobre o uso da energia, no desenvolvimento de equipamentos e incentivou medidas de redução das perdas nos sistemas de geração, transmissão e distribuição. (VERDE, 2000).

Em paralelo a criação do PROCEL, em 1984, foi fundado o Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE) pelo INMETRO com o intuito de contribuir com a racionalização do uso de energia auxiliando o consumidor a optar por equipamentos mais eficientes. Desta forma, o PBE estabeleceu coeficientes de eficiência energética para os aparelhos comercializados no Brasil de modo a dividir os equipamentos em faixas de eficiência e permitir que o consumidor escolha o equipamento mais eficiente entre os modelos disponíveis.



Figura 1: Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE)

Em 1993, o PROCEL, em parceria com o PBE, criou o selo PROCEL de economia de energia para identificar os equipamentos com os melhores níveis de eficiência energética auxiliando os consumidores a optarem por eles. Para obtenção deste selo o equipamento deve ser classe A na ENCE.



Figura 2: Selo PROCEL de Economia de Energia

Em 2001, o setor elétrico sofreu uma forte crise de abastecimento devido à falta de investimentos e um período prolongado de estiagem levando o governo a implementar um plano de racionamento de energia elétrica. As medidas de racionamento tiveram um impacto significativo no consumo de curto prazo reduzindo a demanda em 23%, além disso observou

se que nos quatro anos posteriores os consumidores passaram a utilizar menos eletricidade apontando para a possibilidade de atenuar o aumento da demanda de energia através da reestruturação de seu consumo. (ASSUNÇÃO E SHUTZE, 2017).

Por causa desta crise, em 2001, foi criado o principal marco regulatório de eficiência energética do Brasil. A Lei nº 10.295/01, chamada de Lei de Eficiência Energética, que incumbiu ao Poder Executivo a responsabilidade de estabelecer níveis mínimos de eficiência energética para os equipamentos fabricados ou comercializados no país, além de desenvolver mecanismos que promovam a eficiência energética das edificações construídas no país.

Outro importante marco para o setor foi a Lei nº 9.991/2000 que estipulou a obrigatoriedade das concessionárias e permissionárias de distribuição de energia elétrica a investir uma porcentagem de sua receita em projetos de pesquisa e desenvolvimento e em programas de eficiência energética dos usos finais da energia. Tal lei foi revisada e alterada ao longo do tempo visando se adequar as novas realidades do setor, porém manteve seu foco de incentivar o desenvolvimento de mecanismos de eficiência energética.

Após a crise de 2001, foram criados diversos programas e mecanismos para melhoria da eficiência energética e estruturação do setor elétrico nacional, como por exemplo, a criação da Empresa de Pesquisa Energética (EPE) responsável por desenvolver estudos que auxiliem no planejamento da expansão do setor elétrico e das AEE. Além disso, foram criados programas como o PBE edifica e a iniciativa Esplanada Sustentável para incentivar a diminuição do consumo de energia nos usos finais.

2.2 Principais barreiras da eficiência energética.

Em um estudo realizado pela IEA em 2011 foram elencadas as principais barreiras encontradas na difusão da eficiência energética. A Tabela 1 apresentada os casos encontrados.

Tabela 1: Principais Barreiras na difusão da eficiência energética. Adaptado de IEA, 2011.

Barreira	Descrição
Barreiras Técnicas	Geração e disseminação de conhecimento técnico confiável e de fácil acesso sobre eficiência energética para todos os setores através de redes ou serviços de consultoria.
	Falta de programas de educação e treinamento para garantir a formação de profissionais qualificados na área.
	Desenvolvimento de processos de medição e verificação consistentes de modo a assegurar a quantificação dos benefícios e superar as incertezas.
Barreiras Financeiras	Dificuldades na colaboração entre instituições financeiras públicas e privadas para criação de estruturas de financiamento para eficiência energética.
	Falta de amplo apoio financeiro e colaborativo para pesquisa, desenvolvimento e implementação de AEE.
	Dificuldade de acesso a fundos de financiamento de AEE
	Riscos financeiros sobre o retorno do investimento realizado nas AEE.
	Baixa atratividade para o setor financeiro investir já que o tamanho dos empréstimos é relativamente pequeno e os projetos de EE apresentam maior proporção de <i>soft-costs</i> (desenvolvimento do projeto e serviços) e portanto, uma menor proporção de seguráveis.
Barreiras Políticas	Políticas públicas pouco abrangentes.
	Falta de uma política fiscal que favoreça equipamentos mais eficientes
Barreiras de Uso	Dificuldade na mudança dos hábitos de uso dos equipamentos

As barreiras apresentadas variam dependendo do país analisado. Além disso, o estudo realizado pela IAE em 2011 apresentou enfoque nas barreiras financeiras e as apontou como principal fator que reduz a expansão das medidas de eficiência energética.

O mesmo estudo aponta que devem ser criadas medidas para facilitar o acesso ao crédito para as instituições que desejam realizar projetos de eficiência energética de modo a torna-los mais atrativos. Quando as empresas não conseguem obter empréstimos para implementação de projetos de EE, elas têm que buscar alternativas para o financiamento destas medidas utilizando seu próprio patrimônio ou os colocando em espera. Em geral estes projetos possuem baixa prioridade para a gestão da empresa e são substituídos por outras medidas de redução de custos.

O estudo ainda alerta, medidas governamentais de incentivo podem temporariamente impulsionar estas ações, porém seus efeitos são raramente sustentáveis já que os subsídios não são de longo prazo.

Outra grande barreira para o desenvolvimento de ações de eficiência energética advém da falta de credibilidade destes projetos já que existe uma dificuldade em mensurar de forma

precisa seus resultados. Assim torna se necessário desenvolver medidas para medir e assegurar os ganhos obtidos com estas ações, de modo aumentar sua credibilidade e confiança e assim as tornarem mais atrativas para o setor financeiro.

3. Medição e Verificação.

O Processo de Medição e Verificação (M&V) consiste em mecanismos para determinar de modo seguro e confiável a economia real de energia proveniente das ações de eficiência energética em um edifício. Como a economia não pode ser medida diretamente por se tratar de uma energia que não foi consumida, o processo de M&V determina os ganhos obtidos a partir da comparação entre o consumo medido antes e depois da implementação do projeto. (EVO, 2012).

Todo M&V consiste de cinco etapas estruturadas de modo a garantir a confiabilidade dos resultados medidos, sendo estas:

- Confecção de um plano de medição e verificação que orientará todas as atividades e os métodos a serem empregados, assim como os cálculos e estimativas a serem realizados;
- Instalação, calibração e manutenção dos medidores ou softwares de medição;
- Coleta e tratamento de dados;
- Cálculos com os dados obtidos;
- Confecção do relatório final de M&V, garantia da qualidade e verificação do relatório por terceiros.

Como apresentado na seção anterior, uma das barreiras para a difusão da eficiência energética é a dificuldade de quantificar os benefícios das ações realizadas e superar as incertezas de modo que o processo de M&V surge como tentativa de suplantar esta barreira e aumentar a confiabilidade destes projetos. Além disso, quando corretamente integradas, as atividades de M&V podem reforçar a operação e manutenção das economias obtidas no projeto evitando que os benefícios obtidos se percam ao longo do tempo. (EVO, 2019).

Ainda, o PIMVP define os objetivos de todo processo de medição e verificação, assim como, os impactos de cada um. A Tabela 2 apresenta os pontos abordados:

Tabela 2: Objetivos de um processo de Medição e verificação. Adaptado de EVO, 2012.

Objetivos	Benefícios
Aumentar a economia de energia	A determinação da economia de energia ajuda os gestores a ajustar a concepção das AEE e seus processos de modo a aumentar a economia e assegurar a manutenção dos ganhos obtidos no projeto.
Documentar transações financeiras	Em alguns projetos, a economia obtida pela EE constitui a base dos pagamentos financeiros através de um contrato de desempenho energético. A medição exata da economia é fundamental para determinação transparente das transações financeiras.
Aumentar o financiamento para projetos de eficiência	Aumento da transparência e credibilidade dos relatórios a cerca dos investimentos em eficiência, subindo o nível de confiança de investidores e patrocinadores e assim aumentando as possibilidades de financiamento para tais projetos.
Melhorar projetos de engenharia, funcionamento e manutenção	Ajuda os gestores a descobrir e reduzir problemas de manutenção e funcionamento, a fim de gerir as instalações de modo mais eficiente e gerar informações para a concepção de projetos futuros.
Aumentar o valor dos créditos de redução de emissão	A determinação da economia de energia melhora os relatórios de redução de emissões embasando parte de suas informações.
Apoiar a avaliação de programas de eficiência regionais	Programas governamentais ou de empresas de energia podem usar os dados obtidos nas instalações selecionadas com o objetivo de realizar projeções e outras suposições de modo a prever a economia gerada em seus programas de eficiência energética.
Aumentar a compreensão do público acerca da gestão energética	Ao aumentar a credibilidade dos projetos de EE, o M&V aumenta a aceitação pública encorajando o investimento nestes projetos e conscientizando a população sobre os benefícios da racionalização do uso de energia.

Todo processo de M&V deve seguir métodos bem definidos e aceitos de modo a garantir sua confiabilidade. Os documentos mais importantes da área e que devem guiar o processo são o PIMVP de 2012 que é o protocolo internacional para medição e verificação trazendo a metodologia geral a ser implementada e o Guia de M&V de 2013 da ANEEL que ajusta a metodologia a casos específicos e a realidade brasileira.

3.1 Estrutura e Conceitos básicos do processo de medição e verificação.

Como a economia de energia não pode ser medida diretamente é necessário criar linhas de base para o período anterior as AEE (período antes do retrofit) e para o período posterior (depois do retrofit) ajustando as características de modo a refletir a realidade e possibilitar a comparação entre os consumos. (EVO, 2012). A Figura 3 apresenta um exemplo de linhas de base.

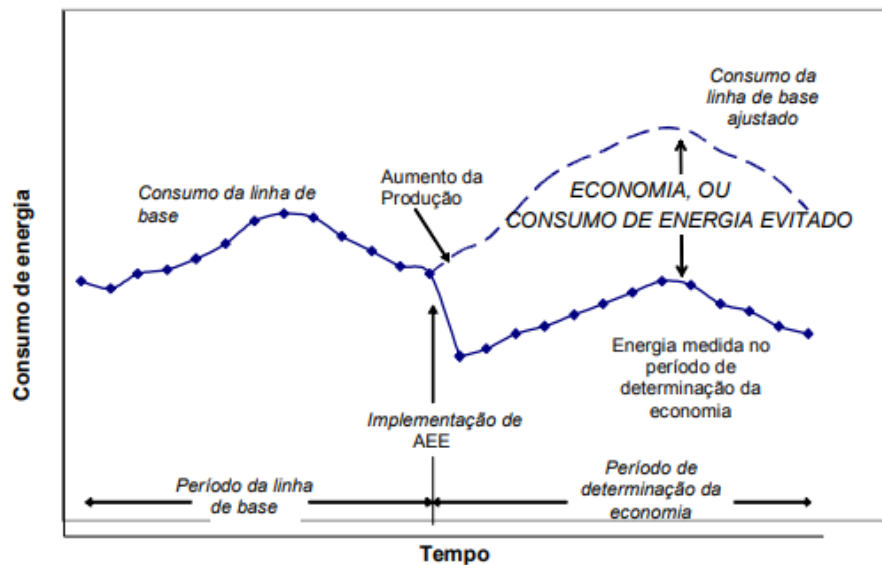


Figura 3: Exemplo de Histórico de Energia. Fonte (EVO, 2012)

A energia economizada pela AEE é obtida subtraindo a energia medida no período de linha de base da energia medida no período de determinação da economia de energia. Além disso, é possível observar que a linha de base precisa ser ajustada para refletir mudanças no padrão de utilização e alterações na instalação de modo a refletir a realidade e a real economia. Deste modo a equação geral 1 apresenta o cálculo da economia de energia.

$$Economia = \left(Consumo\ do\ período\ de\ linha\ de\ base - Consumo\ durante\ o\ período\ de\ determinação\ da\ economia \right) \pm Ajustes. \quad [1]$$

Para melhor entendimento do cálculo e dos fatores que influenciam o processo de medição e verificação é necessário entender os conceitos básicos de M&V.

3.1.1 Fronteira de Medição

A fronteira de medição corresponde aos limites da instalação que está sendo analisada e deve ser definida de acordo com o método de M&V aplicado e os parâmetros que se deseja medir. Além disso ela delimita os fluxos de energia que fluem para o sistema ou fluem dela. (EVO, 2012). A Figura 4 apresenta um exemplo de fronteira de medição para exemplificar o conceito.

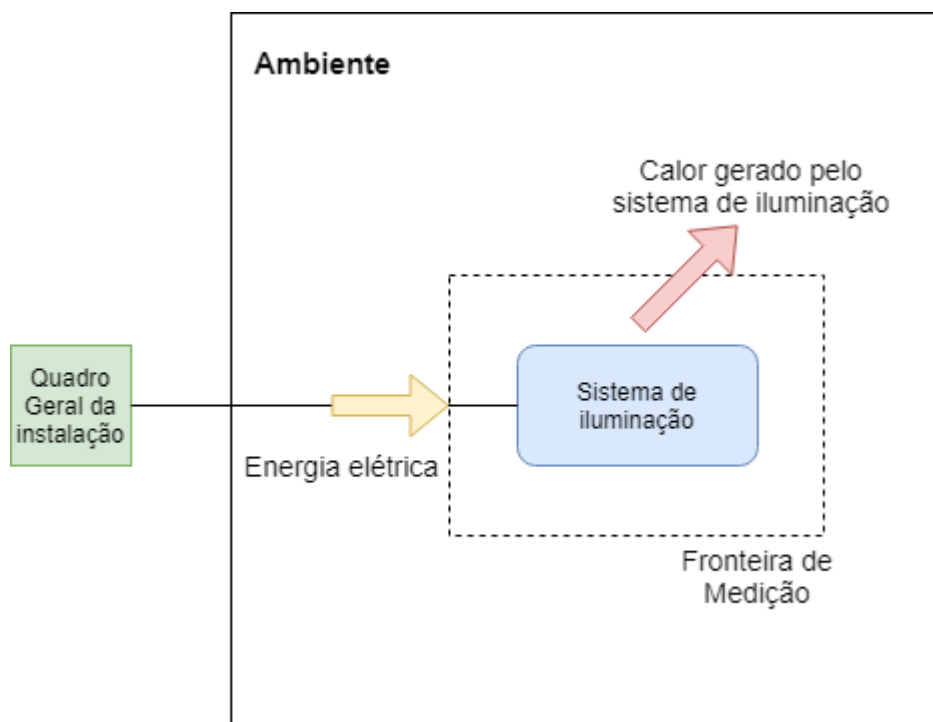


Figura 4: Exemplo de fronteira de medição. Fonte do Autor.

Se o objetivo da medição for ajudar a gerir apenas um equipamento ou sistema específico, deve-se ajustar a fronteira de medição em torno destes componentes usando as opções de medição isolada (Método A e B). Se for pretendido gerir o desempenho energético de toda a instalação, a fronteira deve englobar toda o complexo usando as opções de medição global (Método C e D).

3.1.2 Período da linha de base

O período de linha de base é usado para medir o consumo de energia de uma instalação ou sistema antes da execução de uma ação de eficiência energética visando criar um perfil de consumo. Ele deve cobrir um ciclo completo de funcionamento, desde o consumo máximo de energia ao mínimo. (EVO, 2012).

O uso de energia global em edifícios é afetado diretamente por condições climáticas e condições de operação de modo que as medições da linha de base devem representar bem todas as características envolvidas a fim de garantir que este período condiz com a realidade da instalação.

3.1.3 Período de determinação da economia

O período de determinação da economia deve englobar pelo menos um ciclo de funcionamento do equipamento ou instalação de forma a caracterizar completamente a eficácia da economia em todos os modos de funcionamento e possibilitar a comparação com o período de linha de base. (EVO, 2012).

3.1.4 Bases para ajustes

O termo de ajustes presente na equação 1 deve ser calculado a partir de fatos físicos e mensuráveis acerca das características que regem o consumo de energia. São possíveis dois tipos de ajustes para mensuração da economia: (EVO, 2012).

- Ajustes de rotina: Quaisquer fatores que variem periodicamente durante o período de determinação da economia como, por exemplo, temperatura ou produção devem ser levados em conta de modo a ajustar a linha de base e refletir corretamente a energia economizada. Contudo, para realização dos ajustes, deve-se utilizar modelos matemáticos e estatísticos válidos para justificar as alterações.
- Ajustes não de rotina: Fatores que influenciam o consumo de energia, porém não há expectativas de mudança como, por exemplo, tamanho da instalação ou alteração no tempo de utilização dos equipamentos devem ser monitorados de modo a ajustar a linha de base caso haja mudanças e validar a economia real de energia.

Todo ajuste realizado deve ser embasado e possível de ser medido para que seja válido e não prejudique a confiabilidade do processo de medição e verificação.

3.1.5 Variáveis independentes e Fatores estáticos

Estes conceitos estão diretamente relacionados com os ajustes apresentados e precisam ser definidos para realização do cálculo de economia de energia. As variáveis independentes determinam fatores que impactam diretamente no consumo de energia e variam periodicamente de modo que é possível criar um modelo matemático que correlacione esta variável ao consumo de energia. Assim, é possível criar um modelo de ajuste de rotina que relacione o período de linha de base ao período de determinação da economia e garanta a validade dos ajustes realizados. (EVO, 2012).

Já os fatores estáticos representam variáveis que afetam o consumo de energia, porém espera-se que não se alterem durante a determinação da economia de energia. Eles devem ser monitorados e caso se alterem, servirão de base para os ajustes não de rotina. (EVO, 2012).

De posse das variáveis independentes e fatores estáticos pode-se traçar os períodos de linha de base e de determinação da economia, assim como, todos os ajustes necessários, possibilitando a aplicação da equação 1 e quantificação da economia de energia ou uso evitado de energia.

3.1.6 Efeitos interativos

Quando são realizadas mais de uma ação de eficiência energética em uma instalação pode haver interações entre elas que alterem o consumo de energia. (EVO, 2012). Como exemplo, um projeto que realize a substituição de refletores de vapor de sódio em um galpão por refletores de LED (Light Emitting Diode) reduz a carga térmica derivada da iluminação e consequentemente a carga térmica que precisará ser dissipada pelos ares condicionados reduzindo sua necessidade de funcionamento.

Estes fatores devem ser mapeados e calculados de modo a serem aplicados no cálculo de economia de energia.

3.1.7 Incerteza

A medição de qualquer parâmetro envolve erros, por que nenhum instrumento ou modelo matemático é 100% preciso. Para garantir que o erro resultante é aceitável e que os resultados sejam úteis aos usuários do relatório de economia de energia, deve se gerenciar estas incertezas de modo a calcular seu impacto nos resultados obtidos no processo de M&V. (EVO, 2012).

O processo de determinação de economia de energia deve ser cuidadosamente revisado para gerir as incertezas e garantir a precisão do resultado. As principais fontes de incertezas segundo a EVO em seu documento PIMVP de 2012 são:

- **Instrumentação:** são os erros agregados a precisão dos equipamentos de medição utilizados;
- **Modelagem:** é a incapacidade de criar modelos matemáticos que incluam todos os parâmetros que influenciam o sistema;
- **Amostragem:** a utilização de amostras estatísticas para representar toda a população traz um erro agregado;
- **Efeitos interativos:** São efeitos para além da fronteira de medição não completamente incluídos na metodologia de cálculo da economia;
- **Estimativa dos parâmetros:** Toda estimativa realizada possui um erro agregado.

Para comunicar uma economia de forma estatisticamente válida, deve ser expresso o intervalo de confiança e a precisão do resultado. A confiança refere-se à probabilidade de que a economia estimada esteja dentro do intervalo de precisão estabelecido. (EVO, 2012).

Por exemplo, o resultado estimado para economia de energia de uma AEE é calculado em 1 MWh/ano com uma confiança de 90% e uma precisão de 10%. Isso significa que há 90% de chance de a economia real de energia esteja na faixa de 1 MWh/ano mais ou menos 10% deste valor. Assim, a precisão define a faixa de valores em torno do valor médio calculado nos quais a economia real pode estar e a confiança define a probabilidade do valor real estar neste intervalo.

3.2 Opções de Medição e Verificação do PIMVP

Todos os conceitos apresentados são usados para definir a metodologia a ser implementada em um processo de M&V e guiar sua execução. O PIMVP define quatro métodos de M&V os dividindo em dois grandes grupos. O primeiro grupo corresponde a medições isoladas que visam analisar o consumo de equipamentos ou sistemas específicos de modo que definem a fronteira de medição em torno destes componentes. Já o segundo grupo consiste de medições globais da instalação visando monitorar o impacto das AEE no contexto global do edifício. A Figura 5 apresenta os métodos de medição e verificação.

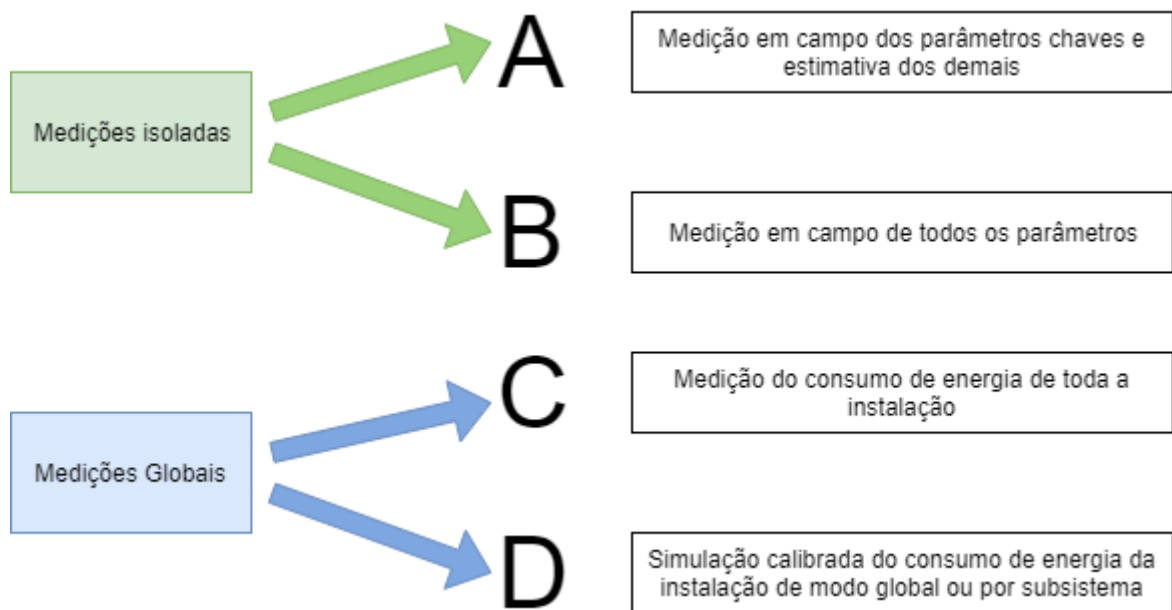


Figura 5: Resumo dos métodos de M&V. Fonte do Autor.

3.2.1 Opção de Medição e Verificação A

A opção A consiste na medição isolada de um equipamento ou sistema definindo a fronteira de medição em torno destes. Este estreitamento da fronteira de medição reduz o esforço necessário para monitorar as variáveis independentes e fatores estáticos que influenciam a AEE. (EVO, 2012).

No entanto este método requer a instalação de medidores adicionais na fronteira de medição, além disso, os resultados obtidos não podem ser correlacionados diretamente com o consumo de energia total da instalação, registrado nas faturas da concessionária, já que mudanças na instalação não relacionadas a AEE específica não serão captadas. (EVO, 2012).

Este método monitora parâmetros chaves do subsistema e estima os demais. Assim, a economia de energia é derivada da combinação dos parâmetros medidos e estimados. Tais estimativas devem ser usadas apenas onde possa se mostrar que a incerteza combinada de todas não afetará significativamente a economia global reportada, além disso, devem ser incluídas no Plano de M&V. As estimativas podem ser baseadas em dados históricos, como as horas de funcionamento registradas no período da linha de base, dados publicados por fabricantes de equipamentos e testes laboratoriais ou dados climáticos típicos.

A opção A é utilizada para medir AEE's em sistemas relativamente constantes de modo a medir um parâmetro e estimar outros. Como exemplo, uma AEE em um sistema de iluminação que substitua as lâmpadas por modelos mais eficientes, mas não altere os períodos de funcionamento do sistema, pode utilizar a opção A de modo a medir a potência das lâmpadas antes e depois da ação e estimar as horas de funcionamento do sistema.

Assim, esse método é indicado para M&V de ações de eficiência energética que alterem apenas um fator do sistema como, por exemplo, a potência ou o tempo de funcionamento. No caso de uma ação que altere mais parâmetros impossibilitando as estimativas é necessário a escolha de outro método.

Como o método depende de estimativas é necessário realizar uma verificação da instalação de modo a criar estimativas realistas, realizáveis e baseadas na utilização atual da instalação, tanto no período de linha de base quanto no de determinação da economia. (EVO, 2012).

Esta opção pode ser a menos dispendiosa dentre as quatro já que o custo de se estimar um parâmetro é menor do que o custo de medi-lo. Caso o custo para estimar um parâmetro seja mais elevado que o de medição, é aconselhável escolher outra opção.

Por fim, segundo o PIMVP, esta opção é mais bem aplicada nos casos mostrados a seguir:

- A incerteza criada pelas estimativas é aceitável;
- A eficácia da AEE pode ser avaliada pela simples medição dos parâmetros chaves;
- A estimativa de alguns parâmetros é menos dispendiosa que sua medida;

3.2.2 Opção de Medição e Verificação B

A Opção B requer a medição de todas as quantidades de energia, ou seja, todos os parâmetros envolvidos no cálculo do consumo de energia do período de linha de base e determinação da economia devem ser medidos. (EVO, 2012).

A economia da maioria das AEE pode ser determinada por esse método, porém a necessidade de medir todos os parâmetros envolvidos adiciona custos de equipamentos de medição e aumento do grau de complexidade do processo de M&V de modo que em geral esse método é mais dispendioso que o anterior.

Contudo, não existem incertezas provenientes de estimativas tornando seus resultados mais precisos que os obtidos na opção A. Além disso, é possível monitorar sistemas que possuem alta variabilidade dos parâmetros de medição, o que não é possível ou difícil de fazer através de estimativas.

Segundo o PIMVP este método é mais indicado para as seguintes situações:

- A economia ou as operações dentro da fronteira de medição são variáveis;
- A medição de todos os parâmetros é menos dispendiosa que a simulação computacional pelo método D;
- É difícil estimar os parâmetros ou a incerteza da estimativa é inaceitável.

3.2.3 Opção de Medição e Verificação C

Está opção implica na utilização de medidores da concessionária ou medidores próprios de toda a instalação para avaliar os impactos conjuntos de todas as AEEs e o desempenho energético de toda a instalação. Assim, a fronteira de medição inclui toda a instalação ou grande parte dela medindo os efeitos positivos ou negativos de todas as alterações feitas na instalação, mesmo as não relacionadas a AEE. (EVO, 2012).

A opção C destina-se a projetos nos quais a economia é significativa em relação ao consumo total. Toda instalação apresenta uma variação de consumo de energia durante o ano em função de suas variáveis de operação e variações inexplicáveis, assim, para utilizar este método, a economia de energia proveniente da ação deve ser muito maior que a variação inexplicável nos dados da linha de base tornando possível identificar a economia.

Estima-se que a economia deve ultrapassar os 10% do consumo da linha de base para o método ser utilizado com confiança considerando o período de determinação da economia inferior a dois anos. (EVO, 2012).

Realizar os ajustes não de rotina constitui o principal desafio desta opção, pois são necessárias inspeções periódicas em todos os equipamentos e nas operações da instalação de modo a identificar as mudanças nos fatores estáticos e nas condições da linha de base, além de garantir que o método de operação previsto esteja sendo cumprido.

Em complexos nos quais o fornecimento da concessionária é medido em um ponto central, são necessários submedidores em cada instalação do complexo que desejasse realizar o projeto de medição e verificação de modo a obter dados significativos do consumo das instalações e reduzir a influência das variações inexplicáveis na medição global.

Para a opção C os ajustes de rotina são calculados desenvolvendo um modelo matemático válido que correlacione uma variável independente com o consumo geral de energia na instalação. Em geral, estes modelos matemáticos provêm de uma análise de regressão, que relaciona a energia consumida a uma variável como, por exemplo, temperatura, produção ou ocupação. Para obter uma maior confiabilidade dos modelos, a Opção C utiliza períodos completos de anos para análise de modo a computar as variações sazonais nos modelos criados. (EVO, 2012).

O custo para execução desta opção depende da origem dos dados de energia e da dificuldade para localizar e medir as alterações dos fatores estáticos dentro da fronteira de medição de forma a permitir ajustes não de rotina. Caso o medidor da concessionária já englobe a instalação de interesse e os fatores estáticos são relativamente simples de serem avaliados, esse método se mostra menos complexo e menos oneroso que os demais.

Segundo o PIMVP a opção C é mais indicada para as seguintes situações:

- Para medir o desempenho energético de toda a instalação, não apenas das AEEs;
- Quando são realizados muitos tipos de ações de eficiência energética em uma instalação;
- AEEs que são difíceis de serem monitoradas individualmente como, por exemplo, melhoramento das paredes e janelas para reduzir a carga térmica;
- Quando as técnicas de medição isoladas se mostram muito complexas e os efeitos interativos são substanciais.
- Não são previstas grandes mudanças na instalação durante o período de determinação da economia.

3.2.4 Opção de Medição e Verificação D

A opção D consiste na utilização de um software de simulação computadorizada de modo a prever a energia economizada da instalação considerando todas as AEE ou prever a economia gerada por subsistema afetado pela AEE. Um modelo de simulação deve ser calibrado para prever um padrão de energia que corresponda aproximadamente aos verdadeiros dados medidos. (EVO, 2012).

Este método é empregado quando não há dados disponíveis de período de base ou do período de determinação da economia ou tais dados não são confiáveis. Assim, o modelo computacional visa criar uma representação fiel do consumo de energia antes e depois da implementação do projeto de eficiência energética e assim permitir o cálculo da energia economizada.

A calibração do software para que a simulação represente a realidade é a principal dificuldade do método podendo aumentar a complexidade de execução, pois esta opção necessita de profissionais qualificados e com experiência no software e em técnicas de calibração. Além disso, são necessários dados de entrada precisos de modo a reduzir a incerteza do método e permitir a fiel documentação de todas as considerações realizadas para aplicação das simulações.

As economias podem ser determinadas a partir dos resultados das simulações para a linha de base e para o período de determinação da economia. Além disso, deve-se estimar o erro associado a calibração de modo a adicionar um termo de erro a equação geral 1.

Segundo o PIMVP a opção D é mais indicada para as seguintes situações:

- Os dados de consumo de energia no período de base ou de determinação da energia não existem ou são pouco confiáveis;
- As AEEs implicam em atividades difusas que não são facilmente medidas isoladas do resto da instalação;
- As interações entre as AEEs (efeitos interativos) são complexas tornando as técnicas de medição isolada complexas e onerosas;
- A opção D é utilizada onde nenhuma outra opção é praticável.

3.3 Escolha da Opção de Medição e Verificação

A decisão de qual método de medição deve ser usado varia dependendo da concepção do plano de M&V e é embasado no conjunto de análises, no orçamento e na avaliação

profissional realizada durante o desenvolvimento do plano. Não é possível generalizar qual a melhor opção para qualquer situação, no entanto é possível seguir um esquemático de decisão de modo a se orientar e facilitar a escolha. (EVO, 2012).

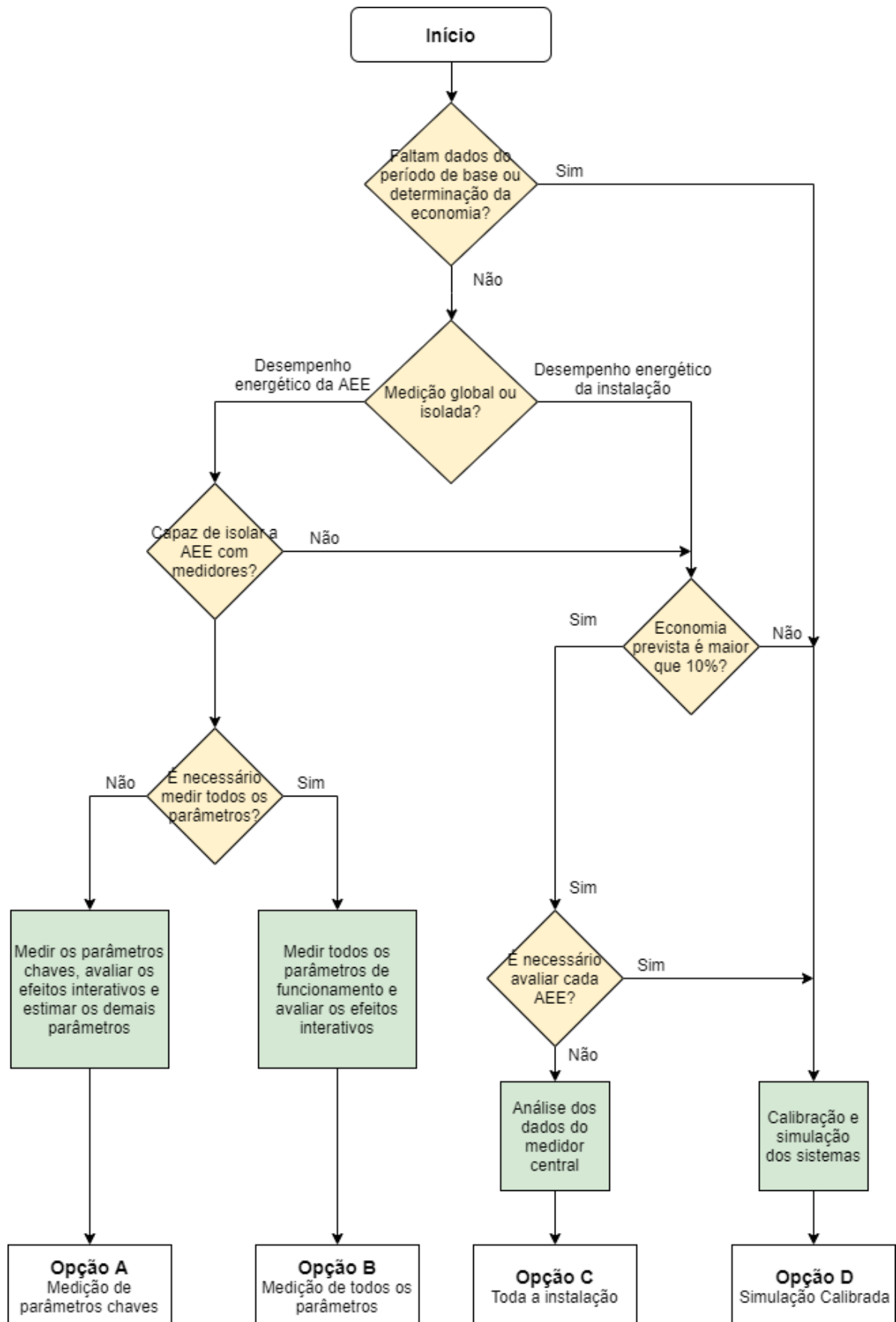


Figura 6: Esquemático de escolha do método de M&V. Adaptado de EVO, 2012.

4. Metodologia

Este capítulo apresentará a metodologia empregada para analisar a economia de energia obtida por ações de eficiência energética enfatizando a utilização dos métodos de medição e verificação A e D tendo o intuito de apresentar de modo geral como estas opções são aplicadas. Em seguida, serão apresentados os softwares utilizados no projeto e seus princípios de funcionamento.

Além disso, será apresentado o conceito de plano de medição e verificação de um projeto de eficiência energética. No decorrer do capítulo será descrito seus principais tópicos e como abordá-los de modo a apresentar o processo de confecção deste documento. Para exemplificar sua estruturação o apêndice C apresentara um plano de M&V para o estudo de caso que será apresentado no capítulo 5.

4.1 Metodologia de aplicação da opção A

A opção A corresponde a um método de medição isolado, assim, os medidores de energia devem ser instalados nos limites da fronteira de medição estabelecidas de modo a coletar os dados apenas do sistema a ser analisado no processo de M&V.

Tal medição deve ocorrer por um período de tempo significativo de modo a não inserir incertezas adicionais ao procedimento e de modo que o sistema consiga atingir o regime permanente, ou seja, as medições não serão influenciadas pelos transitórios iniciais de acionamento do equipamento.

Ainda, deve-se utilizar técnicas estatísticas para realização do processo de medição e verificação visando determinar a quantidade de equipamentos que devem ser medidos e assim determinar o tamanho da amostra significativa que garanta a confiabilidade da ação de M&V. O processo de determinação da incerteza e de determinação da amostra de medição será detalhado ainda neste capítulo.

Além do exposto, é necessário justificar as estimativas adotadas para as grandezas que não serão medidas através da utilização de dados históricos, informações disponibilizadas pelo fabricante do equipamento, testes de laboratório e outras informações que permitam estimar um dos parâmetros. Todos os parâmetros estimados apresentam uma incerteza agregada que deve

ser considerada no cálculo da economia de energia e deve ser justificada no plano de M&V de modo a atender aos requisitos do PIMVP.

Deste modo a equação geral 1 pode ser alterada e ajustada de acordo com as características do método A. Segundo o PIMVP a equação para calcular a economia de energia por este método é dada por:

$$\text{Economia} = \text{Valor estimado} \cdot (\text{Parâmetro medido na linha de base} - \text{Parâmetro medido na determinação da economia}) \quad [2]$$

É possível observar que a equação é formada por um parâmetro que foi medido nos dois períodos determinados e por um parâmetro que foi estimado e que será igual em ambos os períodos. Além disso, como a medição é feita diretamente e em equipamentos isolados o termo de ajustes foi omitido, pois não se espera ajustes de rotina ou não rotina.

4.2 Metodologia de aplicação da opção B

A opção B funciona como um aprimoramento do caso anterior, pois consiste na medição de todos os parâmetros necessários para calcular a energia consumida por um equipamento. Assim os medidores de energia são instalados na fronteira de medição do equipamento alvo da AEE e devem medir todas as quantidades de energia que fluem através da fronteira de medição.

Conhecendo os fluxos de energia através da fronteira de medição é possível traçar a curva de consumo do equipamento em função das variáveis medidas e calcular os ganhos obtidos com a AEE. Geralmente, esse processo é mais demorado que a opção anterior já que requer mais medições e maior complexidade, porém elimina as incertezas advindas das estimativas. Assim como no caso anterior, é necessário utilizar técnicas estatísticas de modo a definir o tamanho da amostra significativa que será medida para calcular a economia de energia do projeto.

Ambos os casos apresentados se baseiam na utilização de analisadores de energia instalados na fronteira de medição para calcular a economia de energia proveniente da ação de eficiência energética. Tal fronteira pode englobar tanto apenas um equipamento quanto um conjunto deles a depender do plano de M&V definido, ainda, dependendo do tipo de grandeza a ser monitorada, estas medições podem ser feitas em laboratório, ou seja, o equipamento é levado para uma banca de testes na qual será simulado seu funcionamento para realizar as

medições, um exemplo de grandeza que pode ser medida desta forma é a potência requerida por uma lâmpada em funcionamento.

Por fim, o PIMVP define uma variante da equação geral 1 para calcular a energia economizada através desse método, tal equação pode ser vista abaixo:

$$\text{Economia} = \text{Energia da linha de base} - \text{Energia da determinação da economia} \quad [3]$$

Tal equação é semelhante a equação geral com a diferença de que o termo de ajustes é omitido, já que todos os parâmetros são medidos neste método e o equipamento é analisado de modo isolado não se espera ajustes de rotina ou não rotina.

4.3 Metodologia de aplicação da opção C

A opção C consiste na utilização dos medidores da concessionária para avaliar o desempenho energético de toda a instalação. Está opção determina a economia coletiva de todas as AEEs aplicadas e possui sua fronteira de medição englobando toda a edificação já que as medições ocorrem no ponto de entrada de energia.

Tal método destina-se a projetos nos quais a economia de energia é significativa e maior do que a variação de energia aleatória ocorrida mensalmente. Se a economia de energia for grande em comparação com esta variação é possível optar por esta opção. O PIMVP indica sua utilização apenas em projetos nos quais a economia supere 10% do consumo registrado no período de determinação da linha de base.

A maior dificuldade agregada na utilização deste método é identificar os ajustes não de rotina de modo que é necessário realizar visitas técnicas periódicas a instalação visando verificar se as condições de uso levantadas no período de determinação da linha de base se mantêm no período de determinação da economia de energia.

Caso haja mais de um medidor de energia da concessionária ou próprio do cliente na instalação, deve-se considerar a economia de energia para cada medidor visando complementar o estudo e obter resultados mais precisos.

Além disso, vale ressaltar que em algumas situações a concessionária estima os valores de consumo de energia do cliente, principalmente se a instalação for afastada da área urbana e pequena, fazendo medições em intervalos maiores para ajustar suas estimativas. Nestes casos, não é possível utilizar a opção C já que os dados de medição não são válidos.

Ainda, os dados da concessionária, quando válidos, são considerados 100% precisos já que refletem o valor pago pelo cliente. Assim, esse método não considera a incerteza agregada com a medição.

4.4 Metodologia de aplicação da opção D

A opção D consiste na utilização de um *software* de simulação computadorizada para calcular a energia consumida em cada cenário da instalação de modo a permitir o cálculo da energia economizada devido as mudanças realizadas no projeto de eficiência energética. A simulação deve ser calibrada de forma que seus resultados sejam condizentes com os resultados reais e a precisão de suas medidas deve ser informada no plano de M&V conferindo credibilidade a seus dados.

Além disso, o Guia de Medição e Verificação confeccionado pela ANEEL em 2013 exige que seja informado o nome e versão do *software*, os dados de entrada e saída, dados medidos e estimados, a calibração realizada e a precisão obtida visando tornar a análise reprodutível e passível de testes.

Há diversos *softwares* de simulação no mercado capazes de realizar as análises necessárias para possibilitar o cálculo dos ganhos obtidos pela ação de eficiência energética. Neste trabalho serão utilizados dois deles, sendo o Design Builder® utilizado para as simulações termoenergéticas e o Dialux® para as simulações de Luminotécnica.

4.4.1 *Software* para simulação Termoenergética e de consumo de energia.

Para as simulações termoenergéticas será utilizado o Design Builder® que é uma ferramenta computacional capaz de realizar cálculos avançados de carga térmica e simulações do comportamento e consumo de sistemas de condicionamento ambiental.

Tal programa serve como ambiente gráfico no qual o projetista pode importar a planta baixa do edifício permitindo a construção de um modelo tridimensional da edificação que se deseja simular. Além disso, ele permite a definição dos materiais que compõem o edifício, os arquivos climáticos da região e o tipo de sistema de condicionamento ambiental de modo a adequar a simulação a realidade.

Em seguida, o *software* grava as informações inseridas e cria um arquivo que pode ser automaticamente lido pelo Energy Plus®, este funciona como uma calculadora para o Design

Buider® realizando todos os cálculos necessários e apresentando os resultados requeridos pelo projetista.



Figura 7: Logo dos softwares Design Builder e Energy plus.

Foi decidido utilizar o software em questão para realizar as simulações, pois este realiza todas as simulações necessárias ao projeto, possui interface amigável ao usuário e possui requisitos de sistema operacional condizentes com os equipamentos disponíveis. Embora, o *software* não seja livre ele possui um período de testes gratuito no qual todas as simulações foram realizadas.

Vale ressaltar que o Energy Plus® realizaria todos as simulações sem a necessidade de uma interface gráfica, porém o processo de configurar o programa de modo que ele simule um edifício tridimensional complexo como a FT seria muito demorado e passível de erros de modo que optou-se por utilizar uma interface gráfica para que os esforços do trabalho fossem focados na metodologia de implementação da medição e verificação pelo método D e na análise dos resultados ao invés de serem despendidos na realização da simulação propriamente dita.

Outro ponto importante é a forma com que os resultados são apresentados. No Energy plus® os resultados são dados através de tabelas de valores o que torna necessário a utilização de outro software para tratá-los e gerar gráficos. Com a utilização da interface gráfica é possível já gerar os gráficos necessários assim como mapas térmicos das distribuições de calor no ambiente, facilitando a análise e permitindo um entendimento mais direto da dinâmica termoenergética do ambiente.

Por fim, independente do *software* escolhido seu processo de utilização é similar e será detalhado na seção 5 através do estudo de caso da faculdade de tecnologia.

4.4.2 *Software* para simulação Luminotécnica.

No caso das simulações Luminotécnicas será utilizado o Dialux®, que é um software para realização de estudos de iluminação, no qual podem ser definidas as normas vigentes de iluminação de interiores e simular a distribuição de luz na edificação de modo a verificar se o projeto está de acordo com as normas.

Neste programa é possível importar a planta baixa do edifício e a partir dela construir um modelo tridimensional no qual os parâmetros de utilização do ambiente são inseridos, assim como o modelo de iluminação. Desta forma é possível calcular a qualidade e o consumo energético do sistema de iluminação antes e após as ações de eficiência energética de modo a analisar o impacto das medidas implementadas.



Figura 8: Logo Dialux®.

Este programa foi escolhido, pois consegue executar todas as simulações necessárias para o projeto, além de ser livre, apresentar uma interface amigável e gerar relatórios já com os dados tratados e organizados na forma de gráficos e mapas isométricos de acordo com a necessidade. Além disso, o próprio *software* já realiza seus cálculos sem ter a necessidade de utilizar programas adicionais como no caso anterior.

Ainda, segundo uma pesquisa realizada pelo IEA (*International Energy Agency*) em escritórios de arquitetura em todo mundo, este software é o mais utilizado para realização de simulações luminotécnicas o que torna seus resultados mais confiáveis e mais aceitos.

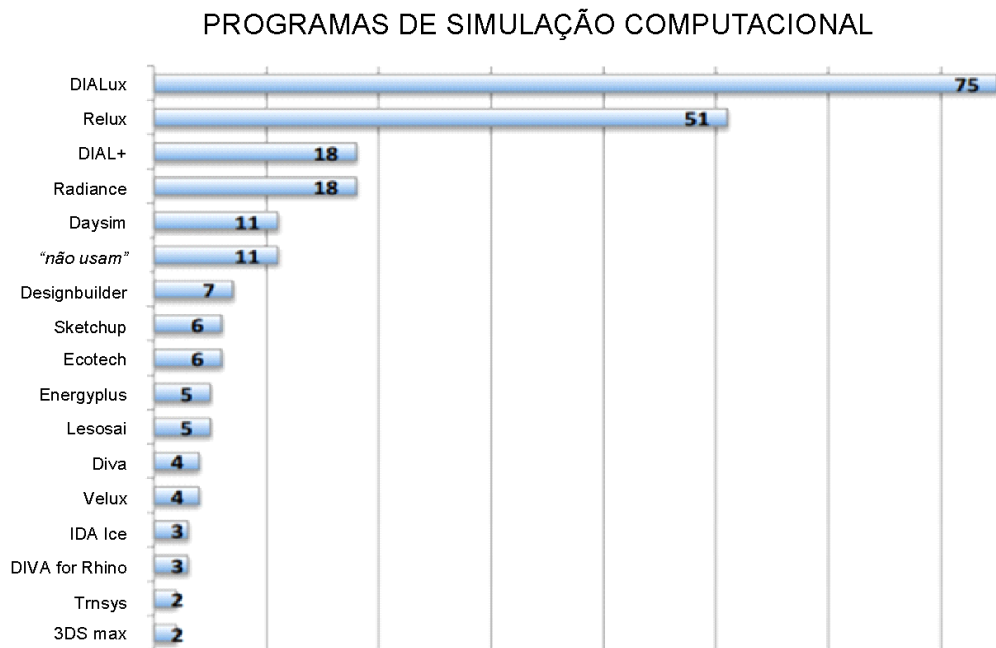


Figura 9: Principais softwares de simulação luminotécnica. Fonte: (IEA, 2016)

Vale ressaltar que o processo de calibração e de preparo da simulação é similar independentemente do *software* podendo ser adaptado para outros simuladores sem grandes alterações.

Por fim, o PIMVP define uma variante da equação geral para determinar a economia de energia através deste método no caso em que será simulado ambos os períodos de análise.

$$\begin{aligned}
 \text{Economia} = & \text{Energia obtida com o modelo calibrado para a linha de base} \\
 & - \text{Energia obtida com o modelo calibrado para a determinação} \\
 & \text{da economia.}
 \end{aligned}
 \quad [4]$$

Dessa forma é possível observar que todas as equações desenvolvidas para cada método são apenas simplificações da equação geral 1 de modo a adaptá-la a opção escolhida.

Vale ressaltar que este software foi utilizado para verificar se as alterações no sistema de iluminação não prejudicariam a qualidade da iluminação. Embora ele calcule o consumo de energia do sistema de iluminação, optou-se por realizar todas as simulações de consumo no *software* Design Builder® já que este calcula os efeitos interativos da substituição da iluminação no sistema de condicionamento ambiental promovendo um resultado mais completo e preciso.

4.5 Plano de Medição e Verificação.

O plano de medição e verificação é o documento responsável por definir como será realizado o processo de M&V, definindo qual opção do PIMVP será implementada, as grandezas que serão medidas e as demais características do processo como, por exemplo, a fronteira de medição, os períodos de linha de base e determinação da economia dentre outros. (EVO, 2012). Este documento funciona como um guia para orientar o procedimento, estabelecer prazos e tornar o trabalho transparente aumentando sua confiabilidade e permitindo sua reprodução futura caso necessária.

Um plano de M&V completo deve apresentar 13 tópicos definidos pela EVO no PIMVP, tais tópicos são:

1. **Objetivos da AEE:** Descrição da AEE e dos resultados esperados, assim como, dos procedimentos da verificação operacional que indicarão o sucesso da implementação.
2. **Opção do PIMVP e fronteira de medição:** Deve se apresentar a opção escolhida, a fronteira de medição determinada e os efeitos interativos se existirem.
3. **Linha de Base, período, energia e condições:** Deve se determinar o período no qual será realizado as medições, todos os dados de consumo e demanda de energia e todas as variáveis independentes e fatores estáticos que influenciem as AEE.
4. **Período de Determinação da economia:** O documento deve identificar o período no qual será monitorado o sistema de modo a determinar a economia de energia proveniente da AEE.
5. **Base para o ajuste:** Declarar o conjunto de condições as quais todas as medições serão ajustadas e definirá se a economia será reportada através de economia normalizada.
6. **Procedimento de análise:** Define os procedimentos exatos de análise de dados a serem usados no relatório.
7. **Preço da energia:** Indica o preço da energia a ser utilizada para calcular a economia advinda da AEE;

- 8. Especificação do medidor:** Especifica os pontos de medição e o período. Além disso, para medidores que não forem da concessionária, deve se especificar as características da medição e o formato de medição do aparelho.
- 9. Responsabilidade de monitoramento:** Deve se atribuir as responsabilidades presentes no plano de M&V aos respectivos profissionais responsáveis.
- 10. Precisão esperada:** Está seção apresenta o cálculo das incertezas presentes nas medições a compara os valores obtidos com os limites apresentados de modo a validar que o projeto está dentro dos limites de incerteza adequados.
- 11. Orçamento:** Define o orçamento e recursos necessários para determinação da economia de energia.
- 12. Formato do relatório:** Define a forma como os resultados serão reportados e documentados.
- 13. Garantia de qualidade:** Especifica os procedimentos de garantia de qualidade que serão utilizados para realização do procedimento e confecção do relatório.

Ainda, o relatório completo deve incluir os dados observados durante os períodos de determinação da economia, a justificativa dos valores estimados e a justificativa de qualquer correção feita, além de todos os pormenores dos ajustes de rotina ou não rotina realizados na linha de base. Também, deve-se apresentar o cálculo da economia calculada em unidades de energia e em unidades monetárias. (EVO, 2012).

Estes são os tópicos necessários para a confecção de um plano de M&V, para exemplificar a utilização deste documento e para guiar o processo de medição e verificação através da opção D realizado neste trabalho, foi montado um plano de M&V que se encontra no apêndice C. Tal plano seguiu o modelo apresentado e foi feito pautado no estudo de caso a ser apresentado no capítulo 5 de modo que indica se a leitura dele antes de prosseguir para o plano. Alguns pontos do plano ainda estão apresentados de modo generalizado de modo a orientar a utilização de outros métodos além do método D, ele foi confeccionado deste modo pois apresenta caráter didático e para auxiliar em uma maior gama de aplicações.

5. Estudo de Caso: Faculdade de Tecnologia – UnB

A universidade de Brasília foi fundada em 1962, com o objetivo de reinventar a educação superior alinhando as diversas formas de saber e formando profissionais capazes de mudar o país. Dois anos depois, foi inaugurada a Faculdade de Tecnologia (FT) com objetivo de centralizar os cursos de engenharia e fomentar a inovação tecnológica.

A FT passou por adaptações do espaço físico e nos sistemas elétricos no decorrer dos anos para abrigar novos cursos e possibilitar a expansão do número de estudantes tendo mais de 4200 alunos matriculados em seus cursos de graduação e pós-graduação. (UNB, 2019). Porém, essas adaptações não seguiram um plano diretor estruturado, sendo realizadas por departamentos específicos e visando sanar apenas os problemas emergenciais daquela localidade. Tal característica criou organizações diferentes dos sistemas elétricos para cada área do edifício, muitas vezes os sobrecarregando e reduzindo sua eficiência energética.

Visando modernizar e aumentar a eficiência energética do edifício, a UnB participou do programa estratégico de eficiência energética promovido pela distribuidora de energia CEB-D tendo seu projeto aprovado.

Tal projeto consiste na realização do retrofit do sistema de iluminação da faculdade de tecnologia substituindo todas as lâmpadas antigas por modelos equivalentes LED. Além disso, o projeto realizará o retrofit dos aparelhos de ar condicionados que apresentam selo PROCEL inferior ao selo B.

Deste modo serão substituídas 2970 lâmpadas fluorescentes tubulares. Tais lâmpadas serão substituídas por modelos equivalentes LED conforme apresentados na tabela abaixo.

Tabela 3: Substituição da Iluminação. Fonte: Do Autor.

Modelo Atual	Modelo Novo	Quantidade
Lâmpada Fluorescente Tubular 32 W	Lâmpada LED Tubular 18 W	2900
Lâmpada Fluorescente Tubular 20 W	Lâmpada LED Tubular 9 W	70

Além disso, serão substituídos 144 ares condicionados antigos por modelos equivalentes de selo A do PROCEL visando aumentar a eficiência dos equipamentos e das instalações de ar condicionado, já que todas as mangueiras e isolamentos serão substituídos.

Tabela 4: Substituição dos Ares condicionados. Fonte: Do Autor.

Modelo Atual	Modelo Novo	Quantidade
Ar Condicionado Split HW 7000 BTU	Split HW 9000 BTU	8
Ar Condicionado Split HW 9000 BTU	Split HW 9000 BTU	15
Ar Condicionado Split HW 10000 BTU	Split HW 9000 BTU	1
Ar Condicionado Split HW 12000 BTU	Split HW 12000 BTU	17
Ar Condicionado Split HW 18000 BTU	Split HW 18000 BTU	9
Ar Condicionado Split HW 21000 BTU	Split HW 24000 BTU	3
Ar Condicionado Split HW 22000 BTU	Split HW 24000 BTU	1
Ar Condicionado Split HW 24000 BTU	Split HW 24000 BTU	8
Ar Condicionado Split PT 30000 BTU	Split PT 36000 BTU	5
Ar Condicionado Split PT 36000 BTU	Split PT 36000 BTU	5
Ar Condicionado Split PT 54000 BTU	Split PT 60000 BTU	1
Ar condicionado janela 7000 BTU	Janela 7500 BTU	4
Ar condicionado janela 7500 BTU	Janela 7500 BTU	11
Ar condicionado janela 10000 BTU	Janela 10000 BTU	25
Ar condicionado janela 12000 BTU	Janela 10000 BTU	2
Ar condicionado janela 12500 BTU	Janela 10000 BTU	1
Ar condicionado janela 18000 BTU	Janela 18000 BTU	8
Ar condicionado janela 21000 BTU	Janela 21000 BTU	15
Ar condicionado janela 30000 BTU	Janela 21000 BTU	2

Como pode ser observado na Tabela 4 alguns modelos de ares condicionados não foram substituídos por modelos de mesma capacidade de resfriamento, estas alterações foram feitas visando uma maior padronização das compras e do sistema de condicionamento ambiental de modo a tentar criar um padrão para toda a instalação. Além disso, foi necessário realizar algumas mudanças devido a indisponibilidade modelos eficientes (Selo A) naquela capacidade de resfriamento, nessas exceções foram utilizados modelos com capacidade de resfriamento condizente com o ambiente e que apresentassem o selo PROCEL.

O primeiro método consistirá em uma estimativa teórica de economia de energia, assim, utilizará os dados técnicos disponibilizados pelo fabricante do equipamento (potência, COP (Coeficiente de Performance), capacidade de resfriamento e etc...). Este cálculo não segue as orientações de medição e verificação do PIMVP, porém é realizado para gerar uma estimativa

inicial dos possíveis ganhos de uma AEE e será realizado para comparar a diferença entre o ganho potência teórico do projeto com o ganho real. O segundo apresentará o procedimento empregado para implementação da opção D, que consiste no método computacional de cálculo de consumo de energia dos sistemas e será abordado com detalhes.

5.1 Potencial Teórico de Economia de Energia

Para realizar o cálculo do potencial teórico de economia de energia com o retrofit dos sistemas de iluminação e de condicionamento ambiental, foi estimado o tempo de funcionamento dos equipamentos e a potência nominal dos mesmos. Desta forma foi possível calcular a energia consumida pelos sistemas antes e depois das AEE's e obter uma estimativa de energia economizada com a mudança.

5.1.1 Potencial Teórico de Economia de Energia na Iluminação

A FT é composta por nove tipos de salas distintas cada qual com um padrão de ocupação característico e que não sofre grandes alterações durante o ano letivo, estes ambientes são:

- Salas de Aula com funcionamento em dois períodos;
- Sala de Aula com funcionamento em três períodos;
- Laboratórios;
- Salas administrativas de uso integral;
- Salas administrativas de uso parcial (salas de reunião, chefia e etc.);
- Salas de professores;
- Banheiros;
- Racks;
- Áreas de circulação.

Para cada ambiente foi estimado o número de horas de funcionamento diário a partir dos cronogramas de aulas disponíveis na secretaria de cada departamento e para as áreas de circulação considerou se o número de horas totais de funcionamento da faculdade separando este ambiente em dois grupos, pois uma parte permanece em funcionamento durante a maior

parte do dia enquanto que outra é acionada apenas a noite. A tabela a seguir apresenta os ambientes e suas respectivas horas de funcionamento.

Tabela 5: Estimativa de Horas de funcionamento de cada ambiente. Fonte: Do Autor.

Ambiente	Horas de Funcionamento diário
Salas de aula com dois períodos	10 horas
Sala com aula com três períodos	14 horas
Laboratórios	10 horas
Salas administrativas de uso integral	14 horas
Salas administrativas de uso parcial	6 horas
Salas de professor	10 horas
Áreas de circulação uso diário	12 horas
Áreas de circulação uso noturno	6 horas

Em seguida foi estimado o número de dias de funcionamento em um ano, para isso considerou se o calendário acadêmico da UnB para o ano de 2019 que possui dias de funcionamento letivo tal apresentados na tabela 6 nos quais há aulas, pesquisas e utilização das salas administrativas.

Tabela 6: Estimativa de dias de funcionamento de cada ambiente. Fonte: Do Autor.

Ambiente	Dias de funcionamento por ano
Salas de aula com dois períodos	200 dias
Sala com aula com três períodos	200 dias
Laboratórios	210 dias
Salas administrativas de uso integral	240 dias
Salas administrativas de uso parcial	240 dias
Salas de professor	210 dias
Rack	365 dias
Banheiros	240 dias
Áreas de circulação uso diário	240 dias
Áreas de circulação uso noturno	240 dias

Nos demais dias a ocupação é volátil e depende dos projetos em andamento na faculdade de modo que o número de horas de funcionamento se torna um parâmetro que não pode ser estimado e deve ser medido para que seja realizada uma estimativa coerente da energia economizada. Neste trabalho não será considerado o período de utilização volátil da edificação.

Utilizando o cronograma de uso das salas foi possível levantar em qual período há ocupação de cada ambiente e definir se está ocupação ocorre em horário de ponta ou horário fora de ponta. Este parâmetro é importante, pois será a partir dele que será calculado a redução

de potência em ponta. A tabela abaixo apresenta o número de horas que o equipamento funciona em horário de ponta e o número de dias por ano nos quais ele funciona neste horário.

Tabela 7: Estimativa de funcionamento em Ponta de cada ambiente. Fonte: Do Autor.

Ambiente	Horas de Funcionamento	Dias de Funcionamento
Salas de aula com dois períodos	0 horas	-
Sala com aula com três períodos	3 horas	195
Laboratórios	0 horas	-
Salas administrativas de uso integral	3 horas	222
Salas administrativas de uso parcial	0 horas	-
Salas de professor	0 horas	-
Áreas de circulação uso diário	3 horas	222
Áreas de circulação uso noturno	3 horas	222

As salas de aula e as salas administrativas que não possuem funcionamento em três período têm suas aulas encerradas as 18:00 h de modo que não funcionam em período de ponta. As salas de professor e laboratórios não possuem um horário fixo a noite apresentando alta variação e sendo um parâmetro que não pode ser estimado e deve ser medido. Como foi definido que a ocupação volátil do edifício não será considerada no estudo, estes horários não foram utilizados no estudo.

De posse destas informações foi possível calcular a energia consumida (EC) anualmente antes e depois da eficientização do sistema de iluminação, assim como, a potência média de ponta (DP). As equações 5 e 6 apresentam como estas grandezas foram calculadas:

$$EC = n \cdot P \cdot H \cdot D \quad [5]$$

$$DP = n \cdot P \cdot \left(\frac{H_p \cdot D_p}{792} \right) \quad [6]$$

Nas quais n representa a quantidade de lâmpadas, P a potência nominal da lâmpada, H o número de horas de funcionamento diário, H_p o número de horas de funcionamento diário em horário de ponta, D o número de dias de funcionamento em um ano e D_p o número de dias de funcionamento em ponta. Na equação 6 o fator 792, que aparece dividindo, representa o número total de horas de funcionamento em horário de ponta possível em um ano, deste modo sua função é calcular a porcentagem do tempo de ponta em que o equipamento fica funcionando e assim estimar sua potência em ponta.

Para organizar os dados foram criadas duas tabelas, uma para o período de *antes do retrofit* e outra para o período de *depois do retrofit* seguindo o modelo apresentado a seguir:

Tabela 8: Exemplo de Organização dos Cálculos de Iluminação.

Iluminação do período <i>Antes do retrofit</i>					
		Total	Sistema 1	Sistema 2	Sistema 3
Tipo de lâmpada					
Lâmpadas	Potência (W)				
	Quantidade				
Reatores	Potência (W)				
	Quantidade				
Potência instalada (kW)					
Tempo de utilização diário					
Dias de utilização no ano					
Funcionamento					
Horas de funcionamento em Ponta					
Dias de utilização em um mês					
Meses de utilização ao ano					
Potência média na ponta (kW)					
Fator de coincidência na ponta					
Energia Consumida (MWh/ano)					
Demanda média na ponta (kW)					

As tabelas com todos os sistemas preenchidos podem ser vistas no apêndice A deste trabalho. Todo o levantamento do quantitativo de lâmpadas presentes na faculdade de tecnologia foi realizado por inspeção e contagem direta das mesmas no local. Esta metodologia de avaliação preliminar da economia de energia potencial de uma AEE é amplamente utilizada nos programas de eficiência energética das distribuidoras sendo implementado na metodologia para calcular o RCB (Relação de custo benefício) dos projetos apresentados.

A economia de energia será calculada a partir da aplicação da equação geral 1 a cada subsistema como mostrado a seguir:

$$EE = \sum_{n=1}^m (EC_{an} - EC_{dn})$$

Sendo EC_{an} a energia consumida pelo sistema de iluminação de um ambiente antes do retrofit e EC_{dn} a energia consumida após. O n seria a identificação do sistema e m o total de sistemas.

Para a redução da potência em ponta foi utilizada uma equação semelhante.

$$RDP = \sum_{n=1}^m (DP_{an} - DP_{dn})$$

Sendo DP_{an} a demanda em ponta antes do retrofit e DP_{dn} a demanda em ponta após o projeto.

5.1.2 Potencial Teórico de Economia de Energia no Sistema de Ares Condicionados

Para o cálculo preliminar da economia potencial possível com a substituição dos aparelhos de ar condicionado foi utilizado um procedimento semelhante ao anterior. Assim, iniciou-se o processo de cálculo estimando o número de horas de funcionamento dos ares em cada ambiente.

Utilizou-se os mesmos ambientes mapeados para o caso anterior com algumas pequenas alterações. Para os ares condicionados, não foi considerado as áreas de circulação, pois estas não possuem condicionamento ambiental artificial.

Como um ar condicionado não permanece ligado durante todo o período de funcionamento de um ambiente, ou seja, nem sempre seu compressor está funcionando ou nem sempre o aparelho em si está ligado foi considerado um fator de funcionamento do compressor e um fator de funcionamento do ar condicionado dependendo da época do ano.

O fator de funcionamento do compressor foi definido a partir de revisão bibliográfica em artigos que apresentam testes de funcionamento de aparelhos de ar condicionado. Nos artigos “Estudo do Potencial de Conservação de Energia Através do Controle do Carregamento de Geladeira e Ar Condicionado” escrito por Santana e Cruz em 2016 e “Nota técnica EPE 030/2018. Uso de ar condicionado no setor residencial brasileiro: Perspectivas e contribuições para o avanço em eficiência energética” publicado pela EPE em 2018 foram estimados os

tempos de funcionamento do compressor de ares condicionados obtendo valores de 70 a 80% do tempo de funcionamento do aparelho. Como este valor varia dependendo do ambiente, decidiu-se utilizar o valor médio de 75% de funcionamento neste trabalho.

O fator de funcionamento do ar condicionado dependendo da época do ano foi definido a partir da análise do arquivo climático do aeroporto de Brasília utilizado nas simulações. Nesse arquivo há dados da temperatura medida a cada hora do dia, primeiramente excluiu-se todos os dados de horas nos quais não há funcionamento das salas da FT, em seguida marcou-se as horas nas quais a temperatura medida era maior que o *set point* definido para o ar condicionado, ou seja, o aparelho começaria a funcionar para controlar a temperatura. Assim, foi possível calcular a porcentagem de horas de funcionamento para cada ambiente.

Essa abordagem apresentou resultados inválidos já que a temperatura medida era uma temperatura externa e não necessariamente igual a temperatura interna do ambiente a qual o aparelho está submetido. Para sanar tal problema simulou-se o edifício sem os aparelhos de ar condicionado de modo a coletar sua temperatura interna quando submetido ao arquivo climático do aeroporto de Brasília. No *software*, esta conta já é realizada, pois são definidas as temperaturas de acionamento e desligamento do equipamento e ele só passa a funcionar se a temperatura do ambiente for maior que está o *setpoint* estabelecido.

Além disso, observou-se que os retrofits do sistema de iluminação e de ar-condicionado reduziam a carga térmica dos ambientes de modo que o coeficiente de funcionamento foi calculado para o sistema antes e após o retrofit.

O *setpoint* dos ares condicionados foi definido em 23 graus Celsius para todas as salas com exceção dos racks. Nestes ambientes o set point foi definido como 17 graus Celsius devido a sua necessidade de operação. O coeficiente de funcionamento do ar condicionado em função do clima variou de local a local na edificação, a tabela a seguir apresenta o coeficiente médio encontrado para cada região.

Tabela 9: Coeficiente de funcionamento do ar condicionado em função do clima. Fonte: Do Autor.

Local	Coeficiente Antes	Coeficiente Depois
Bloco da engenharia elétrica	0,74	0,695
Bloco da engenharia civil	0,75	0,705
Bloco da engenharia mecânica	0,75	0,705
Bloco administrativo e engenharia de produção	0,70	0,655
Bloco dos laboratórios de engenharia mecânica	0,67	0,625
Bloco de engenharia de redes	0,60	0,525
Bloco de engenharia florestal	0,65	0,605

Estas estimativas foram utilizadas para aproximar o modelo teórico da realidade já que não foram realizadas as medições do funcionamento do aparelho em cada ambiente. Além disso, vale ressaltar que os blocos apresentam FUT diferentes devido a diferença de carga térmica em seus ambientes e devido ao sombreamento ao qual estão expostos o que influencia a temperatura interna das salas. Ainda, este coeficiente é uma medida do coeficiente encontrado nas salas dos blocos de modo a aproximar seu funcionamento da realidade, assim, ele também varia nos blocos por causa a variação de salas observadas.

O COP de um ar condicionado é a razão entre sua capacidade de resfriamento ou aquecimento e a potência consumida pelo aparelho. A equação abaixo apresenta o cálculo desta grandeza.

$$COP = \frac{CRA}{P} \quad [7]$$

Sendo CRA a capacidade de resfriamento ou aquecimento em watts e P a potência do equipamento em watts.

Os COPs utilizados nos cálculos teóricos e nas simulações foram obtidos a partir dos dados de placa dos equipamentos instalados no local. Tendo a capacidade de resfriamento dos ares apresentada na Tabela 4 e o COP de cada aparelho é possível calcular a potência de cada equipamento e utilizar as equações 8 e 9 para calcular a energia consumida e a demanda média em ponta.

$$EC = P \cdot H \cdot D \cdot FUC \cdot FUT \quad [8]$$

$$DP = P \cdot H_p \cdot D_p \cdot FUC \cdot FUT \quad [9]$$

Sendo P a potência do aparelho, H o número de horas de funcionamento diárias, H_p o número de horas de funcionamento diária em ponta, D o número de dias de funcionamento por ano, D_p o número de dias de funcionamento em ponta por ano, FUC o fator de utilização do compressor e FUT o fator de funcionamento em função da temperatura.

Para o cálculo de redução da demanda em ponta, foi considerado 1 hora de funcionamento para os ambientes que funcionam 14 horas por dia e 3 horas de funcionamento para os racks.

A economia e a redução de demanda globais são calculadas a partir do somatório das individuais seguindo a mesma metodologia exposta para o sistema de iluminação. Assim como no caso anterior, foram criadas duas tabelas, uma para o período *antes do retrofit* e outra para o *depois do retrofit* seguindo o modelo apresentado a baixo:

Tabela 10: Exemplo de Organização dos Cálculos do Sistema de Ar Condicionado.

Condicionamento Ambiental – <i>Ex ante</i>			
	Total	Sistema 1	Sistema 2
Tipo de Ar condicionado			
Capacidade nominal de refrigeração (BTU/h)			
Coefficiente de Performance			
Quantidade			
Potência instalada (kW)			
Fator de utilização			
Potência média utilizada (kW)			
Horas de funcionamento diárias			
Dias de funcionamento anual			
Funcionamento			
Horas de utilização em ponta			
Dias de utilização em ponta no mês			
Meses de utilização no ano			
Potência média em ponta (kW)			
Fator de coincidência na ponta			
Energia consumida (MWh/ano)			
Demanda média na ponta (kW)			

As tabelas com todos os sistemas preenchidos podem ser vistas no apêndice [B](#) deste trabalho. Todo o levantamento foi realizado diretamente no local visando levantar as características de cada ar condicionado.

Assim como no caso anterior, a metodologia aplicada segue o modelo utilizado nos projetos de eficiência energética das distribuidoras para avaliar o RCB dos projetos de eficiência energética.

5.2 Aplicação do Método A e B na Faculdade de Tecnologia

Essa seção visa descrever os métodos A e B de modo a mostrar como estes poderiam ser aplicados na Faculdade de tecnologia para calcular os ganhos obtidos no projeto. Vale ressaltar que não foram realizados métodos de medição e verificação físicos durante o projeto de modo que esta seção de caráter apenas didático.

5.2.1 Opção A para Medição do Sistema de Iluminação

A opção A pode ser utilizada para medição da economia de energia obtida pelo retrofit do sistema de iluminação. Assim, é realizada a medição direta da potência de funcionamento das lâmpadas antigas e novas de modo a determinar sua potência de funcionamento e a variação em torno da potência média disponibilizada pelo fabricante.

Tais medidas podem ser realizadas em bancada, ou seja, as lâmpadas são medidas individualmente por um período de 20 segundos de modo a atingirem sua potência de regime, ou pode ser realizada diretamente no quadro de energia medindo a potência consumida por um circuito de iluminação. A tabela abaixo apresenta a quantidade de lâmpadas a serem medidas (tamanho da amostra).

Tabela 11: Amostras medidas para o M&V do sistema de iluminação

Modelo Atual	População	CV	Amostra	Modelo Novo	População	CV	Amostra
Lâmpada Fluorescente Tubular 32 W	2900	0,5	96	Lâmpada LED Tubular 18 W	2900	0,5	96
Lâmpada Fluorescente Tubular 20 W	70	0,5	40	Lâmpada LED Tubular 9 W	70	0,5	40

Foi utilizado um coeficiente de variação (CV) de 0,5 conforme instruído pela EVO em seu manual PIMVP de 2012. Este valor é indicado para sistemas nos quais não se conhece precisamente suas características, como é a primeira vez que um estudo deste é realizado na Universidade de Brasília foi adotado o valor indicado.

Além disso, o tamanho da amostra a ser utilizada é calculado a partir de conceitos estatísticos de modo a reduzir o erro agregado a amostragem. A metodologia definida para calcular o tamanho da amostra seguiu a metodologia apresentada no apêndice B3 do PIMVP com um confiança de 95% e uma precisão de 10%.

Assim, o tamanho inicial da amostra pode ser calculado através da equação a seguir:

$$n_0 = \frac{z^2 \cdot cv^2}{e^2} \quad [8]$$

Na qual n_0 representa o tamanho inicial da amostra, z representa o valor padrão da distribuição normal e é tabelado para diversos intervalos de confiança desejados, no caso do estudo, para o intervalo de confiança de 95% temos que z é igual a 1,96. (EVO, 2012). Por fim, e representa o nível de precisão desejado.

Em seguida é possível ajustar o tamanho da amostra se o tamanho de toda a população não for superior a vinte vezes o tamanho da amostra inicial através da equação a seguir: (EVO, 2012).

$$n = \frac{n_0 N}{n_0 + N} \quad [9]$$

Sendo n a amostra ajustada e N o tamanho da população.

Conforme a população aumenta, o tamanho da amostra necessária para caracterizá-la tende a um valor fixo de modo que aumentar o tamanho da amostra não traz uma redução significativa no erro agregado a amostragem. Para o caso apresentado, o valor tende a 96 amostras.

Para uma abordagem mais aprofundada do assunto na qual são explicados os critérios estatísticos por trás deste processo, recomenda-se a leitura do apêndice B do PIMVP onde todos os critérios relacionados a incerteza dos métodos de medição e verificação são apresentados.

Vale ressaltar uma equação do apêndice referido que será utilizada para calcular a incerteza na economia de energia das AEE. A equação a seguir apresenta a forma de se calcular a incerteza resultante da adição ou subtração de medidas que apresentem incertezas individuais:

$$I_t = \sqrt{I_1^2 + I_2^2} \quad [10]$$

Onde I_t é a incerteza do valor final, I_1 é a incerteza da primeira componente e I_2 é a incerteza da segunda componente. Esta equação pode ser estendida para n termos caso seja necessário e para o caso do estudo a primeira variável se relaciona a incerteza referente a linha de base e o segundo a incerteza do período de determinação da economia.

Outra fonte de incerteza provém do analisador de energia. Por exemplo, se for utilizado um analisador RE8000 Classe A fabricado pela empresa Embrasul para realizar as medições, verifica-se que este aparelho apresenta precisão de 0,1% para medidas de tensão e de 0,2% para medidas de corrente na faixa de medição aplicada ao projeto (Usando o medidor de corrente TI Slim). Assim, a incerteza das medições de potência, que se dá pela multiplicação da tensão e da corrente medidas, é de 0,22%. (Embrasul, 2019).

Por fim, será estimado o tempo de funcionamento de cada sistema utilizando o cronograma de utilização das salas disponibilizado pela administração da faculdade de tecnologia tal como apresentado na seção anterior.

5.2.2 Opção B para Medição do Sistema de Ar Condicionado.

A opção B pode ser escolhida para o M&V do sistema de condicionamento ambiental que consistirá da medição de tanto do tempo de funcionamento dos equipamentos de ar condicionado quanto de sua potência.

A tabela abaixo apresenta o número de amostras para cada modelo de ar condicionado.

Tabela 12: Amostras para medição e verificação dos ares condicionados

Modelo Atual	CV	Amostras	Modelo Novo	CV	Amostras
Split HW 7000 BTU	0,5	7	Split HW 9000 BTU	0,5	7
Split HW 9000 BTU	0,5	13	Split HW 9000 BTU	0,5	13
Split HW 10000 BTU	0,5	1	Split HW 9000 BTU	0,5	1
Split HW 12000 BTU	0,5	14	Split HW 12000 BTU	0,5	14
Split HW 18000 BTU	0,5	8	Split HW 18000 BTU	0,5	8
Split HW 21000 BTU	0,5	3	Split HW 24000 BTU	0,5	3
Split HW 22000 BTU	0,5	1	Split HW 24000 BTU	0,5	1
Split HW 24000 BTU	0,5	7	Split HW 24000 BTU	0,5	7
Split PT 30000 BTU	0,5	5	Split PT 30000 BTU	0,5	5
Split PT 36000 BTU	0,5	5	Split PT 36000 BTU	0,5	5

Continuação da tabela 12: Amostra para medição e verificação dos ares condicionados

Modelo Atual	CV	Amostras	Modelo Novo	CV	Amostras
Split PT 60000 BTU	0,5	1	Split PT 60000 BTU	0,5	1
janela 7000 BTU	0,5	4	Janela 7500 BTU	0,5	4
janela 7500 BTU	0,5	10	Janela 7500 BTU	0,5	10
janela 10000 BTU	0,5	20	Janela 10000 BTU	0,5	20
janela 12000 BTU	0,5	2	Janela 10000 BTU	0,5	2
janela 12500 BTU	0,5	1	Janela 10000 BTU	0,5	1
janela 18000 BTU	0,5	7	Janela 18000 BTU	0,5	7
janela 21000 BTU	0,5	13	Janela 21000 BTU	0,5	13
janela 30000 BTU	0,5	2	Janela 21000 BTU	0,5	2

Para realizar a medida de tempo de funcionamento podem ser instalados horímetros nos ares condicionados. Esse equipamento é utilizado para medir o tempo no qual o equipamento fica efetivamente acionado. Já a potência consumida pelo aparelho pode ser medida por meio de um analisador de energia. Comumente o analisador é instalado por um período de uma semana de modo a medir a variação da potência em função da variação da temperatura.

De posse destas medidas é possível calcular a energia consumida pelo equipamento. Para extrapolar as medições para os dias subsequentes e para outros cenários de temperatura ambiente serão utilizados os dados de temperatura medidos pela estação meteorológica do aeroporto de Brasília.

As medidas de temperatura podem ser convertidas para graus dia de resfriamento (GDR) que representa quantidade de graus superiores a temperatura de conforto desejada para o ambiente. Por exemplo, se a temperatura de conforto de um ambiente é definida como 24 graus e a temperatura ambiente é de 27 graus temos que o valor em graus dia de resfriamento será de 3 GDR, ou seja, a temperatura ambiente menos a temperatura de conforto.

Após realizar as medições é possível utilizar as tabelas disponibilizadas pelo Guia de M&V da ANEEL para calcular a economia de energia obtida pelo projeto tanto para o sistema de ar condicionado quanto para o sistema de iluminação.

Este seria o roteiro para aplicação do método A e B de medição e verificação no projeto de eficiência energética da UnB.

5.3 Opção D para avaliação da economia de energia

As simulações computacionais serão realizadas em duas frentes sendo um responsável por analisar o retrofit do sistema de iluminação e do sistema de ar condicionado e outra para analisar se qualidade da iluminação não foi prejudicada.

A simulação luminotécnica foi realizada como prova de conceito de modo a demonstrar que não houve queda na qualidade da iluminação, assim foi aplicada apenas nas simulações dos ambientes modelos. Como o objetivo do estudo é analisar o consumo de energia do edifício, as simulações globais foram realizadas apenas no *software* Designer Builder®.

Ambos os *softwares* de simulação não são de conhecimento comum no curso de Engenharia de Energia de forma que foi necessário pesquisar e aprender seu funcionamento, assim esta seção apresentara o procedimento padrão aplicado para utilização dos programas. Este procedimento será aplicado nas simulações finais do projeto tendo como única alteração os dados inseridos. Além disso, decidiu se simular ambientes modelos de modo a demonstrar o funcionamento de cada simulação como uma prova de conceito que embasará a análise completa do edifício.

5.3.1 Simulação Luminotécnica

A simulação luminotécnica será realizada no software Dialux®. Este programa permite que seja importada uma planta baixa diretamente de um software de CAD servindo como modelo para que seja construída a planta tridimensional do ambiente.

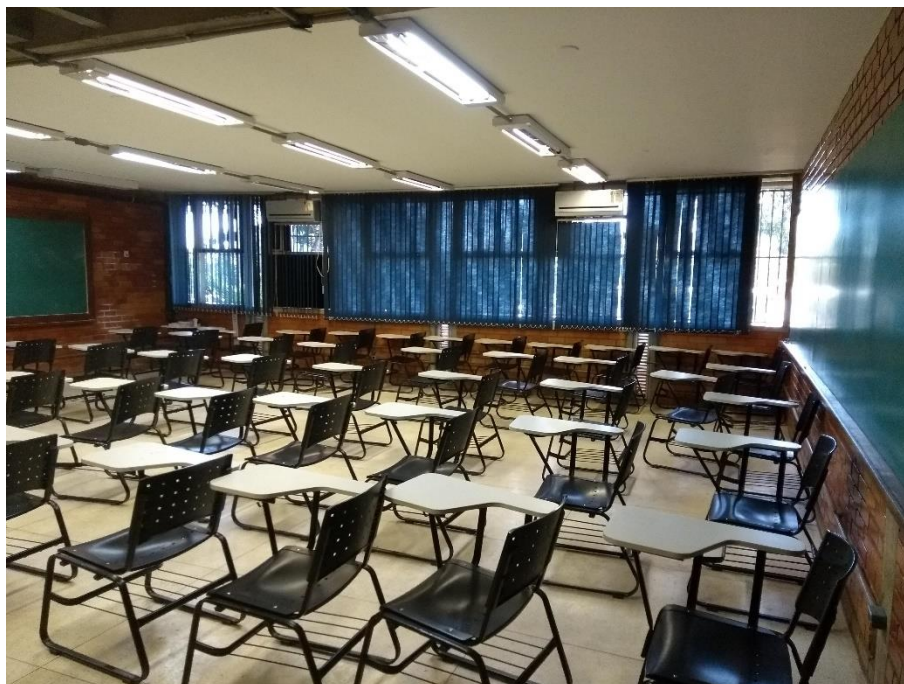
Para demonstrar o funcionamento da simulação serão criados três ambientes modelos a partir da planta baixa da faculdade de tecnologia. Assim, foi escolhido simular a iluminação em uma sala de aula, em uma sala administrativa e uma sala de professor.

O procedimento de simulação começa com a construção do ambiente tridimensional que se deseja simular. Em seguida são definidas as aberturas, como, portas e janelas da edificação e os elementos de fachada do edifício. Este procedimento é importante para simulação da influência da iluminação externa no ambiente em projetos que visam seu aproveitamento, como as simulações visam analisar o retrofit do sistema de iluminação e não realizar o projeto de um novo sistema, a influência da iluminação externa não será considerada assumindo a como uma constante em ambos os períodos de simulação.

Em seguida deve se adicionar os elementos internos estruturais que influenciam na iluminação como, por exemplo, forros rebaixados que reduzam o pé direito da sala, platôs e colunas que podem alterar o perfil de distribuição da iluminação. Com isto definido, adiciona

se os móveis presentes no ambiente e os materiais que compõem as paredes e o piso. Estas definições influenciam diretamente os resultados da simulação, pois a altura dos móveis definirá a altura do plano de trabalho da sala e os materiais que compõem o ambiente alteram o nível de absorção e reflexão da luz influenciando a qualidade da iluminação.

Os ambientes foram simulados utilizando as dimensões presentes na planta baixa da FT e as cores e materiais de acordo com as medidas observadas no local. As figuras a seguir apresentam uma imagem do local escolhido ao lado de sua representação no software.



(A)



(B)

Figura 10: Modelo de Iluminação Sala de Aula. (A) Sala de aula da FT. (B) Sala de aula desenhada computacionalmente. Fonte: Do Autor.

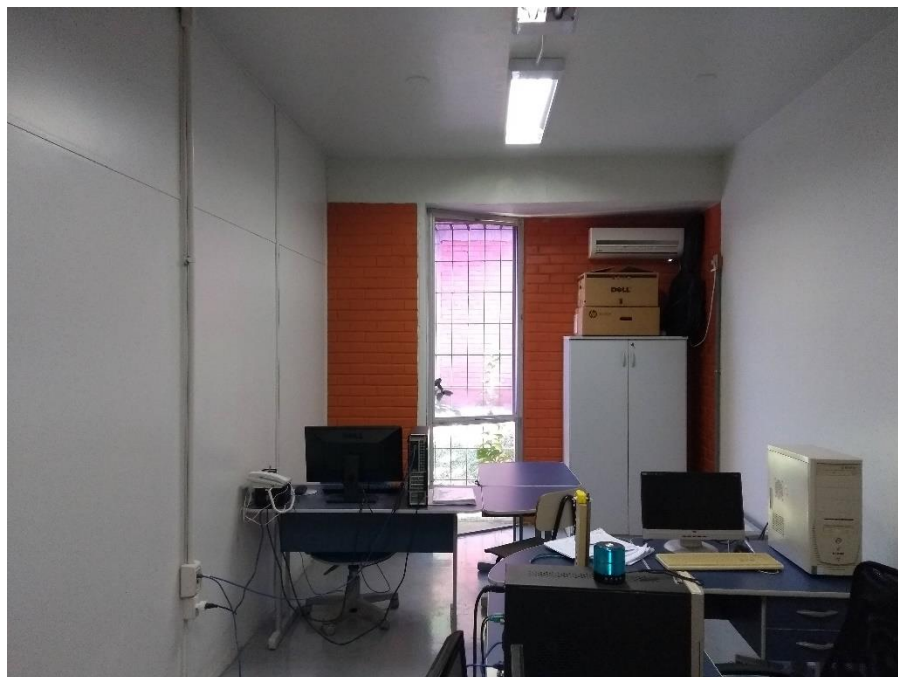


(A)



(B)

Figura 11: Modelo de Iluminação Sala Administrativa. (A) Sala administrativa da FT. (B) Sala administrativa desenhada computacionalmente. Fonte: Do Autor.



(A)



(B)

Figura 12: Modelo de Iluminação Sala de Professor. (A) Sala de Professor da FT. (B) Sala de professor desenhada computacionalmente. Fonte: Do Autor.

Após a construção do ambiente físico é necessário definir as características do sistema de iluminação determinando o modelo da luminária e das lâmpadas utilizadas. Nesta etapa serão configurados os principais fatores que serão usados para calcular o consumo de energia do sistema como a potência das lâmpadas, fator de manutenção, tempo de utilização e definição de sensores de iluminação caso existam.

O *software* divide o tempo de utilização do sistema de iluminação em período diurno e período noturno para realização dos cálculos. No caso do período diurno, é considerado um fator de utilização do sistema considerando que em certos momentos a iluminação pode estar desligada ou a sala pode não estar ocupada, deste modo ele insere a incerteza agregada a definição do tempo estimado de uso do sistema. Esta variação é calculada pelo *software* considerando o tipo de ambiente, a norma de iluminação programada (no trabalho foi usada a norma americana IESNA *Lighting Handbook* 10th) e os dados inseridos pelo usuário.

Vale ressaltar dois pontos, primeiro foi usado a norma americana, pois o *software* não possui a brasileira, porém foi alterado manualmente os parâmetros para cada ambiente de modo a respeitar a norma brasileira. Em segundo, o programa apenas calcula uma redução no tempo de utilização do sistema não considerando que possa haver uma utilização superior a definida, assim será usado o mesmo intervalo de precisão para mais que foi utilizado para redução da utilização.

A iluminação simulada utilizou o mesmo modelo de luminária e lâmpada presentes nas respectivas salas, assim foi baixado a curva IES (modelo da luminária que pode ser importado para o Dialux® de modo a simular o funcionamento real da mesma) da luminária CCN05-S232 e das lâmpadas fluorescentes tubulares de 32 W T8 que são utilizadas na FT de modo a simular seu funcionamento no software. As lâmpadas utilizadas apresentam fluxo luminoso de 2400 lm e temperatura de cor de 6500 K. Para o novo sistema considerou-se lâmpadas LED de 18 W T8 com características semelhantes.

Vale ressaltar que a sala de aula possui 15 luminárias com duas lâmpadas cada, a sala administrativa apresenta quatro luminárias semelhantes e a sala de professor apresenta três.

Além disso, adotou-se o plano de trabalho como sendo a altura das mesas de modo que a avaliar a qualidade da iluminação neste plano. Ainda, foi adotado um fator de manutenção de 0.8 conforme indicado na ABNT NBR 5413 para ambientes moderadamente limpos, esse fator influencia no cálculo da iluminância, vida útil e decrescimento da eficiência das lâmpadas.

Por fim, é possível definir a utilização do ambiente e configurar os parâmetros luminotécnicos como iluminância mínima e fator de qualidade de modo a avaliar se a

iluminação atende a norma brasileira. Como o projeto visa avaliar a economia de energia proveniente da alteração das lâmpadas não será destacada a qualidade da iluminação apenas comparado os dois cenários de modo a avaliar se houve alterações com a mudança das lâmpadas.

5.3.2 Simulação Termoeenergética

A simulação Termoeenergética foi realizada utilizando o software Design Builder®. O processo de simulação é similar ao apresentado na simulação luminotécnica, inicialmente o programa permite que seja carregada uma planta baixa de algum programa de CAD, a partir dela é possível criar o modelo tridimensional da edificação desejada.

As dimensões físicas do ambiente influenciam diretamente no cálculo termoeenergético, assim, utilizando a planta baixa dos ambientes, calculou-se a área de cada local analisado. A sala de aula apresenta uma área de 78,14 m², a sala administrativa apresenta 29,14 m² e a sala de professores apresenta 19,4 m².

Na sequência é necessário configurar o arquivo climático de referência e o local onde o edifício será simulado. Para as simulações do estudo de caso da faculdade de tecnologia foram usados os dados climáticos da estação meteorológica do aeroporto de Brasília e o local foi definido com Brasil, Distrito federal.

Após criar o modelo tridimensional é necessário definir o material do qual as paredes, o piso e o teto são formados. A partir de observações locais definiu-se a composição das paredes como sendo formadas sete camadas, sendo da mais externa para a mais interna, 2 cm de tijolo queimado, 2,5 cm de argamassa, 1,5 cm de tijolo comum, 9,4 cm de ar, 1,5 cm de tijolo comum, 2,5 cm de argamassa e 1 cm de tijolo queimado.

A composição da parede é uma adaptação da composição definida por Weber et al. em seu estudo “Desenvolvimento de um modelo equivalente de avaliação de propriedades térmicas para elaboração de uma biblioteca de componentes construtivos brasileiros para uso no programa *Energyplus*” publicado em 2017. A composição base está presente na página 45, como nenhuma composição equivale a parede da FT, utilizei a composição de parede com argamassa e adicionei os tijolos queimados como revestimento.

Outro tipo de parede encontrado no edifício, foram paredes de divisória de 8 cm de espessura feitas de MDF (aglomerado de madeira prensada). Estas foram simuladas a partir das

medições físicas de sua espessura contando com três camadas sendo estas 7 cm de ar e duas camadas nas extremidades de 0,5 cm de MDF.

Para o chão utilizou-se três camadas sendo estas, da mais externa para a mais interna, 20 cm de concreto, 2 cm de argamassa e 1 cm de piso cerâmico. No caso da laje superior (teto) foi observado que existe uma camada de 8 cm de concreto, uma de 2 cm de tijolo comum, outra de 5 cm de ar, uma 2 cm de tijolo comum e por fim uma de 1 cm de argamassa.

Em seguida, deve se inserir as janelas e portas que compõem o ambiente, pois estas representaram pontos de maior transferência de calor com os ambientes vizinhos influenciando a simulação. As figuras abaixo apresentam as imagens das salas modeladas computacionalmente.



Figura 13: Simulação Termoenergética da Sala de Aula. Fonte: Do Autor.



Figura 14: Simulação Termoenergética Sala Administrativa. Fonte: Do Autor.



Figura 15: Simulação Termoenergética Sala de Professor. Fonte: Do Autor.

Depois de finalizar a construção do ambiente físico é necessário configurar a ocupação do ambiente definindo sua utilização, número de ocupantes, equipamentos que geram calor dentro dele e as parâmetros de temperatura para controle do sistema de ar condicionado, ou seja, qual a temperatura mínima que se deseja e qual a máxima que ele deve atingir.

Para a sala de aula a ocupação foi considerada a capacidade máxima de utilização pautada no número de carteiras no recinto obtendo uma ocupação de 50 pessoas. Sua atividade foi definida como trabalho de escritório. Além disso, foi considerado o projetor, a televisão e o computador presente na sala como equipamentos geradores de calor.

Na sala administrativa também utilizou-se o número de lugares para pautar a ocupação do ambiente obtendo uma ocupação de 8 pessoas. Sua atividade foi definida como trabalho moderado de escritório no qual os ocupantes andam e realizam tarefas de digitação, leitura e demais tarefas de escritório. Ainda, foi considerado o projetor e o computador presentes como equipamentos geradores de calor. A sala de professores é ocupada por três docentes realizando atividades de escritório moderadas assim como no caso anterior. Como equipamentos geradores de calor, foram considerados os três computadores presentes no recinto.

Na simulação global estes valores irão variar um pouco de sala para sala, pois os equipamentos fixos levantados para os ambientes sofrem ligeiras alterações, assim como, a ocupação muda dependendo da sala. Porém estas características apresentadas são o básico que há em cada ambiente.

Na sequência foram criados modelos de utilização dos ambientes. Esses modelos definem o tempo de utilização de cada recinto nos dias letivos, não letivos e durante fins de semana e feriados. Assim, utilizou-se as mesmas horas de funcionamento que as definidas para o cálculo teórico apresentado.

Após estas definições é necessário configurar o sistema de ar condicionado propriamente dito determinando o equipamento utilizado e definindo suas características como potência, fluxo de ar, coeficiente de performance e demais parâmetros.

Para a sala de aula considerou-se os dois ares condicionados split presentes de capacidade nominal de resfriamento de 24000 BTU/h cada e COP de 2,26. Para a sala administrativa e a sala de professor considerou-se o ar condicionado split de capacidade nominal de 9000 BTU/h e COP de 2,23 e 2,29 respectivamente.

Para os modelos simulados após o retrofit considerou-se um COP de 3,24 que representa a etiqueta A do PROCEL para este tipo de ar condicionado e capacidade nominal de resfriamento igual ao dos modelos antigos.

Como o Desing Builder® utiliza o Energy Plus® para realizar os cálculos, foi possível programar a utilização do sistema de iluminação de modo a calcular seu consumo anual e comparar com o consumo calculado na simulação do Dialux®. Esse cálculo foi realizado para comparar os resultados nos dois softwares e ter um parâmetro que embase os resultados já que

independente do programa utilizado, se os cálculos tiverem sido realizados corretamente, os valores devem ser os mesmos dentro da margem de precisão estipulada.

Com todos os parâmetros definidos a simulação está pronta para ser executada.

6. Resultados e Discussões Obtidos com a Calibração dos Ambientes Modelos

Todas as análises apresentadas nas seções anteriores foram aplicadas de modo que foram realizados os cálculos teóricos da economia de energia potencial com as ações de eficiência energética, assim, como as simulações computacionais de cada ambiente. Neste trabalho não foi possível realizar a calibração das simulações, pois os dados de consumo do edifício não estavam disponíveis no período de estudo de modo que as simulações apresentam uma prova de conceito e uma prova de que o método aplicado funciona para calcular a economia de energia de um sistema.

6.1 Resultados teóricos da economia de energia para os ambientes modelo

Inicialmente calculou-se a economia de energia para os ambientes modelo de modo a compara tal resultado com o consumo obtido nas simulações. As seções seguintes apresentam os resultados para cada sistema.

6.1.1 Resultados Teóricos Esperados para os Ambientes Modelo: Sistema de Iluminação

As lâmpadas utilizadas nos ambientes simulados apresentam potência nominal de 32 W e utilizam um reator com potência de 8 w (fator de conversão 1,25), ou seja, cada lâmpada apresentará uma potência composta de 36 W. Após o retrofit foram usadas lâmpadas de LED de 18 W que não necessitam de reator.

A tabela a seguir apresenta o consumo teórico calculado. Ressaltando que foram utilizados os dados presentes na seção anterior para realizar todos os cálculos.

Tabela 13: Economia de Energia e Redução de Potência em Ponta no Sistema de Iluminação.

Resultados esperados antes do retrofit				
	Total	Sala de aula	Sala administrativa	Sala de professor
Consumo de energia (kWh)	4445,28	3024,00	967,68	453,60
Demanda em ponta (kW)	1,03	0,79	0,24	0,00
Resultados esperados depois do retrofit				
	Total	Sala de aula	Sala administrativa	Sala de professor
Consumo de energia (kWh)	2222,64	1512,00	483,84	226,80
Demanda em Ponta (kW)	0,515	0,395	0,12	0,00
Resultados Esperados: Economia de Energia				
	Total	Sala de aula	Sala administrativa	Sala de professor
Redução de demanda em ponta (RDP) (kW)	0,515	0,395	0,12	0,00
Porcentagem de RDP	50%	50%	50%	0%
Energia economizada (EE) (MWh/ano)	2222,64	1512,00	483,84	226,80
Porcentagem de EE	50%	50%	50%	50%

Deste modo é possível observar que a economia de energia esperada para as salas modelo com o retrofit da iluminação é de cerca de 22,22 MWh/ano representando cerca de 50% do consumo anual de energia. Além disso, observa-se uma redução da demanda de ponta de 0,515 kW o que representa cerca de 50% da potência de ponta deste sistema.

Tais valores apresentam o potencial teórico estimado de economia que pode ser obtida com o projeto e serão comparados com os valores medidos através da medição e verificação pelos métodos D. A partir da análise direta das substituições realizadas é possível observar que a potência das lâmpadas LED corresponde à metade das lâmpadas fluorescentes atuais de modo que os resultados de EE e RDP sendo de 50% indicam que a metodologia de cálculo apresenta resultados coerentes.

6.1.2 Resultados Teóricos Esperados: Sistema de Condicionamento Ambiental.

Tabela 14: Ganhos teóricos da AEE no Sistema de Condicionamento Ambiental.

Resultados esperados antes do retrofit				
	Total	Sala de aula	Sala administrativa	Sala de professor
Consumo de Energia (kWh)	8925,16	5533,50	2319,40	1072,26
Demanda em Ponta (kW)	0,99	0,82	0,17	0,00
Resultados esperados depois do retrofit				
	Total	Sala de aula	Sala administrativa	Sala de professor
Consumo de Energia (kWh)	6309,54	3872,78	1699,23	737,53
Demanda em Ponta (kW)	0,67	0,56	0,11	0,00

Resultados esperados: Economia de energia				
	Total	Sala de aula	Sala administrativa	Sala de professor
Redução de demanda em ponta (RDP) (kW)	0,32	0,26	0,06	0,00
Porcentagem de RDP (%)	32,32%	31,70%	35,29%	0%
Energia economizada (EE) (MWh/ano)	2615,62	1460,72	620,17	334,73
Porcentagem de EE (%)	29,30%	26,39%	26,73%	31,21%

É possível observar que a economia de energia teórica esperada é de cerca 2,61 MWh/ano representando cerca de 29,3% de redução no consumo deste sistema. Além disso, espera-se uma redução de demanda de ponta de 2,906 kW que representa cerca de 69,15% da demanda atual. Tais resultados serão comparados com as simulações realizadas pelo método D de modo a calibrar o sistema.

6.2 Resultados das Simulações Luminotécnicas

Foram realizadas as simulações luminotécnicas dos ambientes propostos obtendo os seguintes resultados de consumo de energia para o sistema atual.

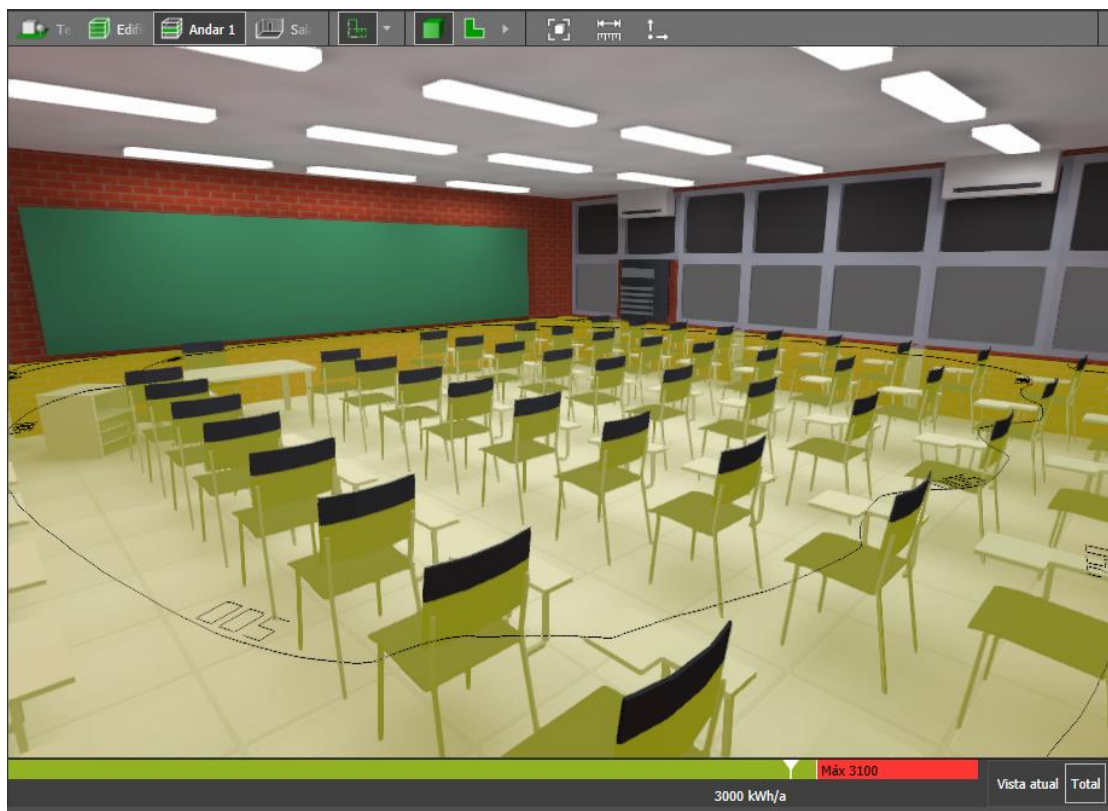


Figura 16: Consumo de Energia Sala de Aula Antes do Retrofit.

Através da simulação é possível observar que o valor médio de consumo de energia para a sala de aula foi de 3000 kWh a cada ano, este valor é calculado a partir da multiplicação da potência do sistema por seu tempo de funcionamento. Além disso vale ressaltar que a partir de 1000 kWh o programa apresenta uma escala de precisão de 50 kWh a cada ano, arredondando o valor para a escala mais próxima. Assim, a simulação condiz com o valor teórico dentro da faixa de precisão do programa.



Figura 17: Consumo de Energia Sala Administrativa Antes do Retrofit.

Semelhantemente ao caso anterior o consumo médio de energia foi simulado e apresenta valor de 970 kWh por ano. Ainda, para a faixa inferior a 1000 kWh e superior a 100 kWh a cada ano o programa apresenta uma faixa de precisão de 10 kWh. Deste modo é possível observar que o valor simulado confere com o valor calculado dentro da faixa de precisão.



Figura 18: Consumo de Energia na Sala de Professor Antes do Retrofit.

Por fim, foi simulado o consumo de energia na sala de professor obtendo o valor médio de 450 kWh por ano e condiz com os cálculos dentro da faixa de precisão do programa.

A escala de medida do *software* é de 10 kWh por ano neste caso, ou seja, os valores obtidos são arredondados para múltiplos de 10, por exemplo, se o consumo anual de um ambiente for de 151 kWh ele será arredondado para 150 kWh na simulação. Este fato induz uma incerteza adicional de 10 kWh a todos os resultados o que é uma imprecisão alta e impossibilita a utilização deste programa para a análise de economia de energia proposta. A tabela a seguir apresenta o compilado de resultados para o sistema antes do retrofit.

Tabela 15: Resumo dos resultados para o sistema de iluminação antes do retrofit.

Ambiente	Consumo médio (kWh/a)	Variação (kWh/a)	Precisão (%)
Sala de Aula	3000	± 50	8%
Sala Administrativa	970	± 10	0,239%
Sala de professor	450	± 10	0,8%
Total	4420		0,57%

Para ambientes de menor consumo o resultado apresenta valores próximos aos calculados, porém conforme aumenta-se a escala de consumo pode-se haver maiores desvios conforme apresentado na tabela.

Os mesmos cálculo foram realizados para o sistema proposto considerando o mesmo padrão de utilização do ambiente. As figuras a seguir apresentam os resultados para o sistema após o retrofit.

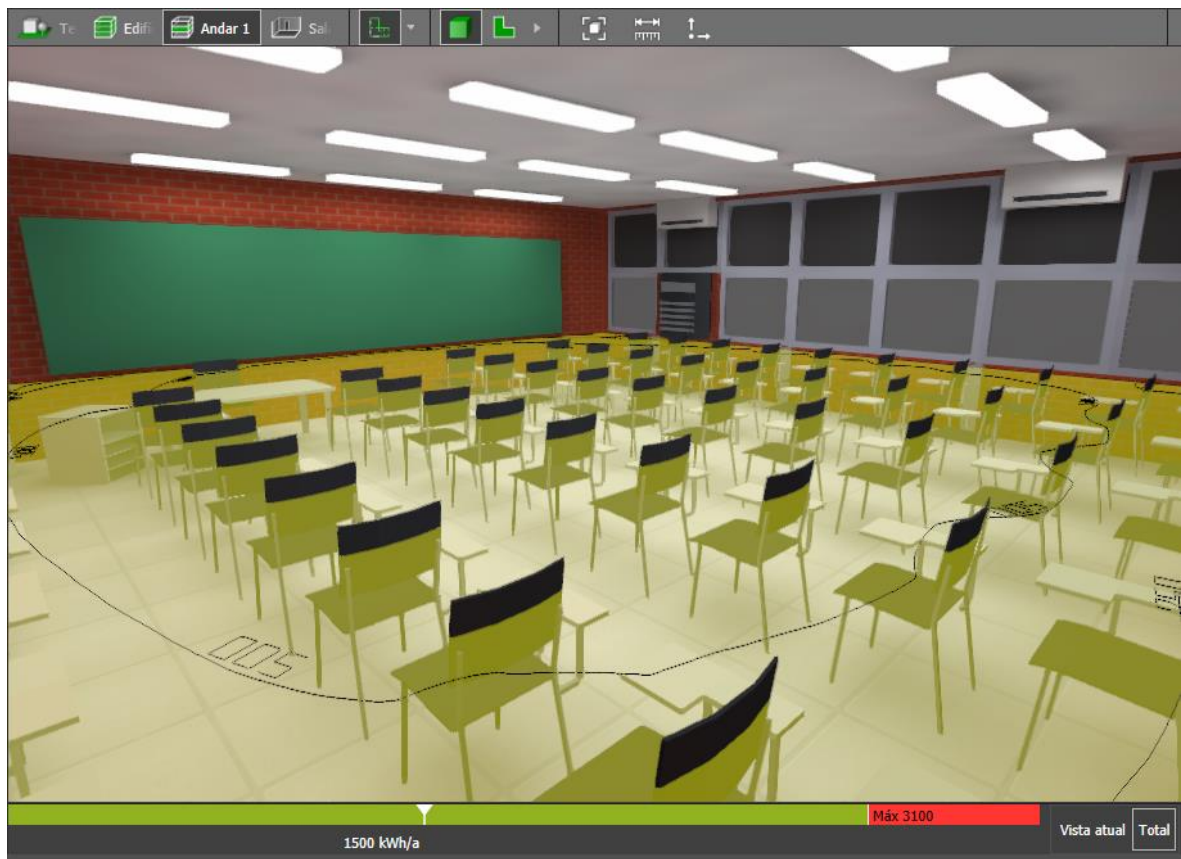


Figura 19: Consumo de energia na Sala de Aula Após o Retrofit.

Alterando a lâmpadas para o modelo de LED proposto obteve-se uma redução no consumo conforme esperado, assim o consumo simulado foi de 1500 kWh por ano. Comparando este valor ao obtido antes do retrofit e tendo o intervalo de precisão como parâmetro é possível observar que a economia simulada condiz proporcionalmente com a economia obtida ao se reduzir a potência de 36 w para 18 w o que embasa os resultados obtidos.

Além disso, ao se comparar os dois cenários observou-se que a qualidade da iluminação não foi prejudicada pela troca. As lâmpadas LED apresentam uma curva fotométrica mais estreita que as fluorescentes de modo que a distribuição das curvas isoluximétricas é levemente

alterada com a substituição, mas ainda respeitando os padrões normativos. Como o foco do estudo é avaliar a economia de energia obtida na AEE não será aprofundada a análise de qualidade de iluminação.



Figura 20: Consumo de Energia Sala Administrativa Após o Retrofit.

Simulando o sistema após o retrofit das lâmpadas obteve-se o consumo de 480 kWh por ano o que é condizente com a relação de redução de potência das lâmpadas. Além disso, a alteração não prejudicou a qualidade da iluminação no ambiente alterando suavemente a distribuição das curvas isoluximétricas, mas ainda se mantendo dentro das normas vigentes.



Figura 21: Consumo de Energia na Sala de Professor Após o Retrofit.

Por fim, foi simulado o consumo de energia na sala de professor e obteve-se o valor de 230 kWh por ano. Vale ressaltar que neste caso não houve alterações significativas na distribuição das curvas isoluximétricas do ambiente devido a substituição das lâmpadas, assim o ambiente manteve-se dentro das normas.

A tabela abaixo trás o resumo dos resultados obtidos para o sistema após o retrofit.

Tabela 16: Resumo dos resultados para o sistema de iluminação depois do retrofit.

Ambiente	Consumo médio (kWh/a)	Variação (kWh/a)	Precisão (%)
Sala de Aula	1500	± 10	0,8%
Sala Administrativa	480	± 10	0,8%
Sala de professor	230	± 10	1,39%
Total	2210		0,568%

Pode-se observar que em todas as simulações o erro agregado está dentro da faixa de precisão estabelecida no plano de medição e verificação deste documento (10%) de modo que atendem aos critérios propostos.

A tabela abaixo apresenta a comparação entre o valor calculado para o sistema antes e depois do retrofit visando apresentar o cálculo da economia de energia com o projeto.

Tabela 17: Economia de energia simulada para o sistema de iluminação.

Ambiente	Consumo médio (kWh/a)	Precisão (%)
Sala de Aula	1500	8,039%
Sala Administrativa	490	0,697%
Sala de professor	220	1,603%
Total	2210	8,226%

Assim é possível observar a economia média em cada ambiente e constatar que a precisão dos cálculos se encontra dentro da precisão proposta. Para obter a precisão necessária realizou-se todos os cálculos visando uma precisão dentro da faixa de 5% de modo que ao realizar os cálculos de economia de energia está se mantivesse abaixo da faixa de 10% que foi proposta no estudo.

6.3 Resultados das Simulações Termoenergéticas

Os ambientes propostos foram construídos e simulados de modo a obter o consumo de energia anual do sistema de ar condicionado. O programa já gera tabelas com todos os dados resultantes da simulação, tal como apresentado na tabela abaixo

Tabela 18: Exemplo de saída de dados do designer builder. Fonte do autor.

EnergyPlus Output		Temperatures, Heat Gains and Energy Consumption - Sala de aula, Building 1		Evaluation	
		1 Jan - 31 Dec, Run period		Year	
Room Electricity (kWh)				1388,20	
Lighting (kWh)				3026,54	
Cooling (Electricity) (kWh)				5528,68	
Outside Dry-Bulb Temperature (°C)				21,53	
External Infiltration (kWh)				-194,57	
General Lighting (kWh)				3026,54	
Computer + Equip (kWh)				1388,20	
Occupancy (kWh)				9669,07	
Solar Gains Exterior Windows (kWh)				3784,55	
Zone Sensible Cooling (kWh)				-9690,44	

As tabelas a seguir apresentam o resumo dos resultados obtidos para a simulação dos ambientes modelo.

Tabela 19: Consumo de energia simulado para sala de aula no período antes do retrofit.

Parâmetro	Valor simulado
Consumo de energia dos equipamentos na sala de aula (kWh/a)	1388,20
Consumo de energia dos ares condicionados (kWh/a)	5528,68
Consumo de energia da iluminação (kWh/a)	3026,54
Temperatura média na sala de aula (°C)	23,85

O *software* trás diversos outros dados de saída como energia derivada da ocupação de pessoas, energia transmitida pelas paredes, ventilação natural e outros, porém escolheu se apresentar apenas os dados de consumo de energia e da temperatura média que estão diretamente relacionados com o processo de medição e verificação abordado neste trabalho.

Pode-se observar que foi obtido um valor levemente diferente do teórico para o sistema com uma variação de 4,82 kWh/a do valor esperado. Esta variação é proveniente de erros de truncamento e da influência dos demais parâmetros programados no *software* para realizar sua calibração. Tal diferença representa uma incerteza de 0,087% em relação ao valor teórico.

Além disso, é possível observar que o consumo obtido com o sistema de iluminação condiz com o consumo calculado nas simulações luminotécnicas dentro da margem de precisão estipulada corroborando para a validação do modelo. Além disso, é possível observar que a diferença entre o valor simulado e o teórico é de 2,54 kWh ao ano, muito abaixo da diferença obtida pela simulação no Dialux.

Também foi calculado o consumo de energia dos equipamentos presentes na sala, este consumo é um valor estimado a partir das cargas fixas do ambiente que foram levantadas durante as visitas técnicas, porém não representa todo o consumo restante de energia da FT já que não foram levantadas todas as cargas da edificação.

Para a sala administrativa e para a sala de professor seguiu se o mesmo procedimento obtendo os seguintes resultados:

Tabela 20: Consumo de energia simulado para sala administrativa no período antes do retrofit.

Parâmetro	Valor simulado
Consumo de energia dos equipamentos na sala administrativa (kWh/a)	579,98
Consumo de energia dos ares condicionados (kWh/a)	2318,46
Consumo de energia da iluminação (kWh/a)	968,79
Temperatura média na sala de aula (°C)	23,72

O consumo de energia para o sistema de ar condicionado apresentou uma variação de 0,94 kWh por ano em relação ao consumo teórico calculado o que indica que a calibração do software condiz com a análise teórica.

Novamente é possível observar que o consumo calculado para o sistema de iluminação condiz com o calculado anteriormente embasando a análise realizada. Além disso, observa-se que o resultado se torna mais próximo do teórico neste *software* do que no anterior.

Tabela 21: Consumo de energia simulado para sala de professor no período antes do retrofit.

Parâmetro	Valor simulado
Consumo de energia dos equipamentos na sala de professor (kWh/a)	937,77
Consumo de energia dos ares condicionados (kWh/a)	1075,41
Consumo de energia da iluminação (kWh/a)	452,52
Temperatura média na sala de aula (°C)	23,13

O consumo de energia para o sistema de ar condicionado mostrou uma variação de 3,15 kWh por ano em relação ao consumo teórico o que representa uma variação de 0,29%. Deste modo, todas as simulações do período de antes do retrofit apresentaram uma incerteza inferior a 1%.

Novamente é possível observar que o consumo calculado para o sistema de iluminação condiz com o calculado anteriormente embasando a análise realizada.

Em seguida foi simulado o sistema após o retrofit obtendo os respectivos resultados:

Tabela 22: Consumo de energia simulado para sala de aula no período depois do retrofit.

Parâmetro	Valor simulado
Consumo de energia dos equipamentos na sala de aula (kWh/a)	1388,20
Consumo de energia dos ares condicionados (kWh/a)	3871,04
Consumo de energia da iluminação (kWh/a)	1513,27
Temperatura média na sala de aula (°C)	23,73

O consumo de energia do sistema de ar condicionado apresentou uma variação de 1,74 kWh por ano em relação ao valor teórico calculado. Nestes cenários modelos não foi possível distinguir o efeito interativo do retrofit do sistema de iluminação do resultado final já que há poucas lâmpadas na simulação, assim ele fica mascarado na própria variação decorrente da calibração do programa.

Nos modelos globais do edifício observou-se o impacto deste efeito interativo e foi calculado seu impacto na economia de energia. Mais detalhes serão expostos durante a apresentação dos resultados globais.

Além disso, é possível observar que o consumo do sistema de iluminação condiz com o resultado obtido nas simulações anteriores e que o consumo dos demais equipamentos se manteve constante já que não houve alterações nos mesmos.

Tabela 23: Consumo de energia simulado para sala administrativa no período depois do retrofit.

Parâmetro	Valor simulado
Consumo de energia dos equipamentos na sala administrativa (kWh/a)	579,98
Consumo de energia dos ares condicionados (kWh/a)	1693,05
Consumo de energia da iluminação (kWh/a)	484,39
Temperatura média na sala de aula (°C)	23,68

A partir do cálculo do valor teórico de consumo de energia para o sistema após a AEE (1699,23 kWh/a) é possível observar que o resultado simulado é 6,18 kWh/a inferior ao valor teórico representando uma variação de 0,36%. O aumento da porcentagem de variação está ligado com a própria variação da calibração do programa, assim como, é resultante do efeito interativo causado pela redução da potência do sistema de iluminação.

Além disso, o consumo do sistema de iluminação condiz com o consumo encontrado na simulação anterior considerando a faixa de precisão.

Tabela 24: Consumo de energia simulado para sala de aula no período depois do retrofit.

Parâmetro	Valor simulado
Consumo de energia dos equipamentos na sala de professor (kWh/a)	937,77
Consumo de energia dos ares condicionados (kWh/a)	736,33
Consumo de energia da iluminação (kWh/a)	226,26
Temperatura média na sala de aula (°C)	23,11

Observou-se que o consumo de energia do sistema de ar condicionado apresenta uma variação de 1,2 kWh por ano em relação ao cálculo teórico o que representa uma variação percentual de 0,162%.

De posse dos resultados foi possível calcular a economia obtida. A tabela a seguir apresenta a economia para cada ambiente e a incerteza agregada.

Tabela 25: Resultados da economia de energia para as salas modelo.

Ambiente	Economia Ar (kWh/a)	Incerteza (%)	Economia Iluminação (kWh/a)	Incerteza (%)
Sala de aula	1657,64	0,097	1513,27	0,117
Sala administrativa	625,41	0,365	484,4	0,160
Sala de professor	339,07	0,3348	226,24	0,330
Total	2622,12	0,504	2223,91	0,384

Assim é possível observar que todas as incertezas encontram-se dentro do intervalo de precisão estipulado.

Além disso, é possível observar que a calibração realizada resulta em resultados próximos aos resultados teóricos calculados o que corrobora com sua validade.

Por fim, comparando a incerteza agregada a economia de energia da iluminação calculada pelos dois *softwares*, é possível notar que a precisão do Designer Builder é consideravelmente maior justificando a escolha por usá-lo para calcular a economia do sistema de iluminação.

7. Metodologia para Confeção das simulações globais.

As simulações globais consistiram na expansão da calibração dos ambientes modelos para toda a edificação da faculdade de tecnologia seguindo as considerações e levantamentos expostos.

Neste trabalho foi utilizado a versão de testes do Designer Builder que apresenta a limitação de simular no máximo 50 ambientes (Zonas Térmicas) por arquivo de modo que foi necessário subdividir a FT em partes menores para poder simular o consumo global de energia de seus sistemas. A tabela a seguir apresenta as divisões realizadas:

Tabela 26: Subdivisões da FT para simulação.

Local	Tag
Bloco da engenharia elétrica	FT1
Bloco da engenharia civil	FT2
Bloco da engenharia mecânica	FT3
Bloco administrativo e engenharia de produção	FT4
Bloco dos laboratórios de engenharia mecânica	FT5
Bloco de engenharia de redes	FT6
Bloco de engenharia florestal	FT7

Vale ressaltar que foi a partir desta divisão que os fatores de utilização do ar em função do clima foram calculados. Além disso, não foram criados ambientes externos de modo a calcular o consumo da iluminação externa. Isto foi feito de modo a reduzir o número de ambientes e permitir a simulação do prédio assim como para reduzir o tempo de simulação.

O Designer Builder utiliza a densidade de potência do sistema de iluminação como medida de potência para realizar seus cálculos, deste modo foi dividido a potência total de iluminação em cada local pela sua respectiva área obtendo o parâmetro de cálculo que foi utilizado em todas as salas. Como a simulação tem o objetivo de calcular a economia de energia global da ação e todas as salas foram contempladas ela AEE, esta simplificação não prejudica os resultados finais alcançados.

Além disso, o efeito interativo causado no ar condicionado pela elevação da potência interna devido ao rateio da iluminação externa estará presente na margem de incerteza da simulação e atentou-se para que esta simplificação não fizesse com que a incerteza global fosse superior a margem de 10% estabelecida no projeto.

7.1 Resultados teóricos da economia de energia.

Os apêndices A e B apresentam as tabelas de cálculo para o consumo de energia e demanda de ponta para os sistemas de iluminação e condicionamento ambiental antes e depois das medidas de eficiência energética. Assim, os resultados teóricos obtidos para o sistema de iluminação e condicionamento ambiental são:

7.1.1 Resultados Teóricos Esperados: Sistema de Iluminação

Tabela 27: Economia de Energia e Redução de Potência em Ponta no Sistema de Iluminação.

Resultados esperados							
	Total	Sist. 1	Sist. 2	Sist. 3	Sist. 4	Sist. 5	Sist. 6
Redução de demanda em ponta (RDP) (kW)	14,14	2,45	4,81	0,00	0,00	0,00	0,85
Porcentagem de RDP	50,59%	50,00%	50,00%	0,00%	0,00%	0,00%	50,00%
Energia economizada (EE) (MWh/ano)	111,70	9,80	18,24	8,73	35,08	22,68	2,90
Porcentagem de EE	50,24%	50,00%	50,00%	50,00%	50,00%	50,00%	50,00%
Resultados esperados							
	Sist. 7	Sist. 8	Sist. 9	Sist. 10	Sist. 11	Sist. 12	Sist. 13
Redução de demanda em ponta (RDP) (kW)	5,21	0,00	0,00	0,82			
Porcentagem de RDP (%)	50,00%	0,00%	0,00%	62,50%			
Energia economizada (EE) (MWh/ano)	8,92	2,30	0,40	2,65			
Porcentagem de EE (%)	50,00%	50,00%	50,00%	62,50%			

Deste modo é possível observar que a economia de energia esperada para o projeto de retrofit da iluminação é de 111,70 MWh/ano representando cerca de 50 % do consumo anual de energia. Além disso, observa-se uma redução da demanda de ponta de 14,14 kW o que representa cerca de 50,5% da potência de ponta deste sistema.

Tais valores apresentam o resultado teórico estimado de economia que pode ser obtida com o projeto e serão comparados com os valores medidos através da medição e verificação pelos métodos D.

A partir da análise direta das substituições realizadas é possível observar que a potência das lâmpadas LED corresponde a aproximadamente a metade das lâmpadas fluorescentes atuais de modo que os resultados de EE e RDP sendo próximos de 50% indicam que a metodologia de cálculo apresenta resultados coerentes.

7.1.2 Resultados Teóricos Esperados: Sistema de Condicionamento Ambiental.

Tabela 28: Ganhos Globais da AEE no Sistema de Condicionamento Ambiental.

Resultados esperados							
	Total	Sist. 1	Sist. 2	Sist. 3	Sist. 4	Sist. 5	Sist. 6
Redução de demanda em ponta (RDP) (kW)	4,9	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,56
Porcentagem de RDP	29,35%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	33,04%
Energia economizada (EE) (MWh/ano)	103,58	0,78	0,39	0,72	0,79	0,72	4,89
Porcentagem de EE	27,17%	30,43%	30,72%	16,86%	30,72%	16,86%	33,04%
Resultados esperados							
	Sist. 7	Sist. 8	Sist. 9	Sist. 10	Sist. 11	Sist. 12	Sist. 13
Redução de demanda em ponta (RDP) (kW)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Porcentagem de RDP (%)	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Energia economizada (EE) (MWh/ano)	3,12	0,29	0,29	0,29	0,53	0,22	0,26
Porcentagem de EE (%)	30,43%	26,21%	26,21%	26,21%	30,72%	20,94%	26,08%
Resultados esperados							
	Sist. 14	Sist. 15	Sist. 16	Sist. 17	Sist. 18	Sist. 19	Sist. 20
Redução de demanda em ponta (RDP) (kW)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Porcentagem de RDP (%)	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Energia economizada (EE) (MWh/ano)	0,45	0,60	0,23	0,37	0,39	0,32	0,53
Porcentagem de EE (%)	29,87%	22,98%	22,30%	26,16%	26,78%	22,33%	30,72%
Resultados esperados							
	Sist. 21	Sist. 22	Sist. 23	Sist. 24	Sist. 25	Sist. 26	Sist. 27
Redução de demanda em ponta (RDP) (kW)	0,00	0,10	0,13	0,13	0,00	0,00	0,11
Porcentagem de RDP (%)	0,00%	31,59%	31,30%	31,59%	0,00%	0,00%	25,37%
Energia economizada (EE) (MWh/ano)	0,67	1,10	1,44	1,46	1,98	1,21	1,29
Porcentagem de EE (%)	38,73%	31,59%	31,30%	31,59%	30,43%	21,15%	25,37%
Resultados esperados							
	Sist. 28	Sist. 29	Sist. 30	Sist. 31	Sist. 32	Sist. 33	Sist. 34
Redução de demanda em ponta (RDP) (kW)	0,15	0,09	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00
Porcentagem de RDP (%)	31,59%	22,66%	23,97%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Energia economizada (EE) (MWh/ano)	1,75	1,09	0,55	0,61	0,46	0,16	0,11
Porcentagem de EE (%)	31,59%	22,66%	23,97%	31,01%	31,01%	15,40%	10,93%

Continuação da tabela 28: Ganhos Globais da AEE no Sistema de Condicionamento Ambiental.

Resultados esperados							
	Sist. 35	Sist. 36	Sist. 37	Sist. 38	Sist. 39	Sist. 40	Sist. 41
Redução de demanda em ponta (RDP) (kW)	0,00	0,00	0,00	0,22	0,00	0,00	0,00
Porcentagem de RDP (%)	0,00%	0,00%	0,00%	39,74%	0,00%	0,00%	0,00%
Energia economizada (EE) (MWh/ano)	0,07	0,51	0,74	1,41	0,11	1,07	0,52
Porcentagem de EE (%)	6,77%	30,14%	41,18%	39,74%	10,93%	31,01%	31,30%
Resultados esperados							
	Sist. 42	Sist. 43	Sist. 44	Sist. 45	Sist. 46	Sist. 47	Sist. 48
Redução de demanda em ponta (RDP) (kW)	0,19	0,05	0,05	0,00	0,00	0,17	0,05
Porcentagem de RDP (%)	40,80%	15,43%	15,43%	0,00%	0,00%	23,12%	24,57%
Energia economizada (EE) (MWh/ano)	2,17	0,58	0,58	0,41	0,41	1,51	0,63
Porcentagem de EE (%)	40,80%	15,43%	15,43%	15,43%	15,43%	23,12%	24,57%
Resultados esperados							
	Sist. 49	Sist. 50	Sist. 51	Sist. 52	Sist. 53	Sist. 54	Sist. 55
Redução de demanda em ponta (RDP) (kW)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Porcentagem de RDP (%)	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Energia economizada (EE) (MWh/ano)	0,30	2,28	0,26	1,63	0,60	0,27	0,27
Porcentagem de EE (%)	19,91%	24,86%	19,61%	40,80%	24,86%	19,91%	19,91%
Resultados esperados							
	Sist. 56	Sist. 57	Sist. 58	Sist. 59	Sist. 60	Sist. 61	Sist. 62
Redução de demanda em ponta (RDP) (kW)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Porcentagem de RDP (%)	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Energia economizada (EE) (MWh/ano)	0,30	0,38	0,26	0,27	0,26	0,27	0,26
Porcentagem de EE (%)	24,86%	15,76%	19,61%	19,91%	19,61%	19,91%	19,61%
Resultados esperados							
	Sist. 63	Sist. 64	Sist. 65	Sist. 66	Sist. 67	Sist. 68	Sist. 69
Redução de demanda em ponta (RDP) (kW)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Porcentagem de RDP (%)	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Energia economizada (EE) (MWh/ano)	0,38	0,17	0,17	0,17	0,30	0,17	0,39
Porcentagem de EE (%)	15,76%	17,19%	16,87%	17,19%	24,86%	17,19%	27,47%

Continuação da tabela 28: Ganhos Globais da AEE no Sistema de Condicionamento Ambiental.

Resultados esperados							
	Sist. 70	Sist. 71	Sist. 72	Sist. 73	Sist. 74	Sist. 75	Sist. 76
Redução de demanda em ponta (RDP) (kW)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,16	0,00
Porcentagem de RDP (%)	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	26,89%	0,00%
Energia economizada (EE) (MWh/ano)	0,20	0,20	0,21	0,20	0,46	1,39	0,31
Porcentagem de EE (%)	19,75%	19,75%	20,07%	19,75%	18,36%	26,89%	22,70%
Resultados esperados							
	Sist. 77	Sist. 78	Sist. 79	Sist. 80	Sist. 81	Sist. 82	Sist. 83
Redução de demanda em ponta (RDP) (kW)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Porcentagem de RDP (%)	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Energia economizada (EE) (MWh/ano)	0,31	0,31	0,31	0,31	0,91	0,31	0,31
Porcentagem de EE (%)	22,39%	22,70%	22,70%	22,70%	27,47%	22,70%	22,39%
Resultados esperados							
	Sist. 84	Sist. 85	Sist. 86	Sist. 87	Sist. 88	Sist. 89	Sist. 90
Redução de demanda em ponta (RDP) (kW)	0,00	0,15	0,00	0,08	0,20	0,06	0,02
Porcentagem de RDP (%)	0,00%	26,60%	0,00%	26,60%	26,60%	34,10%	15,65%
Energia economizada (EE) (MWh/ano)	0,31	1,75	1,66	0,87	2,33	0,70	0,25
Porcentagem de EE (%)	22,70%	26,60%	26,60%	26,60%	26,60%	34,10%	15,65%
Resultados esperados							
	Sist. 91	Sist. 92	Sist. 93	Sist. 94	Sist. 95	Sist. 96	Sist. 97
Redução de demanda em ponta (RDP) (kW)	0,06	0,00	0,12	0,00	0,21	0,00	0,14
Porcentagem de RDP (%)	34,10%	0,00%	34,68%	0,00%	26,45%	0,00%	34,39%
Energia economizada (EE) (MWh/ano)	0,70	0,67	1,43	0,76	2,53	0,90	1,57
Porcentagem de EE (%)	34,10%	34,39%	34,68%	26,12%	26,45%	26,45%	34,39%
Resultados esperados							
	Sist. 98	Sist. 99	Sist. 100	Sist. 101	Sist. 102	Sist. 103	Sist. 104
Redução de demanda em ponta (RDP) (kW)	0,16	0,21	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Porcentagem de RDP (%)	26,45%	21,27%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Energia economizada (EE) (MWh/ano)	1,81	2,42	0,16	0,15	0,16	0,51	0,67
Porcentagem de EE (%)	26,45%	21,27%	15,65%	15,28%	15,65%	30,08%	34,39%

Continuação da tabela 28: Ganhos Globais da AEE no Sistema de Condicionamento Ambiental.

Resultados esperados							
	Sist. 105	Sist. 106	Sist. 107	Sist. 108	Sist. 109	Sist. 110	Sist. 110
Redução de demanda em ponta (RDP) (kW)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Porcentagem de RDP (%)	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Energia economizada (EE) (MWh/ano)	0,43	0,58	1,41	0,71	1,24	0,36	0,56
Porcentagem de EE (%)	34,10%	34,10%	25,11%	25,44%	30,34%	27,58%	34,36%
Resultados esperados							
	Sist. 111	Sist. 112	Sist. 113	Sist. 114	Sist. 115	Sist. 116	Sist. 117
Redução de demanda em ponta (RDP) (kW)	0,00	0,00	1,08	0,00	0,00	0,00	0,00
Porcentagem de RDP (%)	0,00%	0,00%	33,68%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Energia economizada (EE) (MWh/ano)	0,18	0,92	9,50	-0,13	0,58	0,87	0,80
Porcentagem de EE (%)	21,18%	26,44%	33,68%	-5,09%	37,00%	37,00%	29,37%
Resultados esperados							
	Sist. 118	Sist. 119	Sist. 120	Sist. 121	Sist. 122	Sist. 123	Sist. 124
Redução de demanda em ponta (RDP) (kW)	0,11	0,09	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Porcentagem de RDP (%)	29,37%	29,31%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Energia economizada (EE) (MWh/ano)	1,35	1,13	0,46	0,45	0,42	0,45	0,46
Porcentagem de EE (%)	29,37%	29,31%	37,00%	36,71%	35,00%	36,71%	37,00%
Resultados esperados							
	Sist. 125	Sist. 126	Sist. 127	Sist. 128	Sist. 129	Sist. 130	Sist. 131
Redução de demanda em ponta (RDP) (kW)	0,00	0,00	0,00	0,00			
Porcentagem de RDP (%)	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%			
Energia economizada (EE) (MWh/ano)	0,43	0,84	0,84	0,56			
Porcentagem de EE (%)	35,86%	29,37%	29,37%	35,29%			

É possível observar que a economia de energia teórica esperada é de 103,58 MWh/ano representando cerca de 27,17% de redução no consumo deste sistema. Além disso, espera-se uma redução de demanda de ponta de 4,9 kW que representa cerca de 29,35% da demanda atual.

A redução de demanda de ponta se mostra pequena neste caso, pois os únicos ares considerados em funcionamento no horário de ponta são os ares das salas de rack e salas que operam em regime de 14 horas, deste modo o número de aparelhos é pequeno e reflete a RDP apresentada. De posse dos cálculos teóricos para o consumo de energia do sistema é possível realizar as simulações computacionais globais e comparar os resultados obtidos.

7.2 Construção dos modelos computacionais globais

Utilizando os parâmetros definidos para os ambientes modelo foram construídos os sete macro modelos utilizados para calcular a economia global de energia para a Faculdade de Tecnologia. As figuras a seguir apresentam os ambientes construídos.



Figura 22: FT1 – Bloco de engenharia elétrica. Fonte do autor.



Figura 23: FT2 – Bloco de Engenharia Civil. Fonte do Autor.

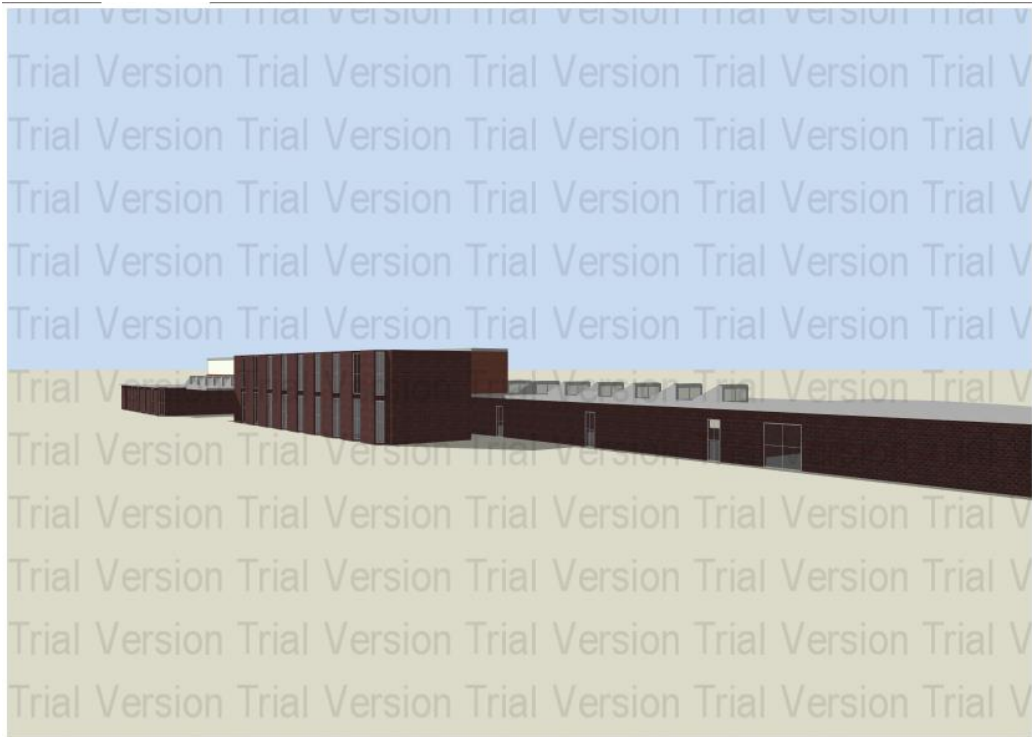


Figura 24: FT3 – Bloco de engenharia Mecânica. Fonte do Autor.

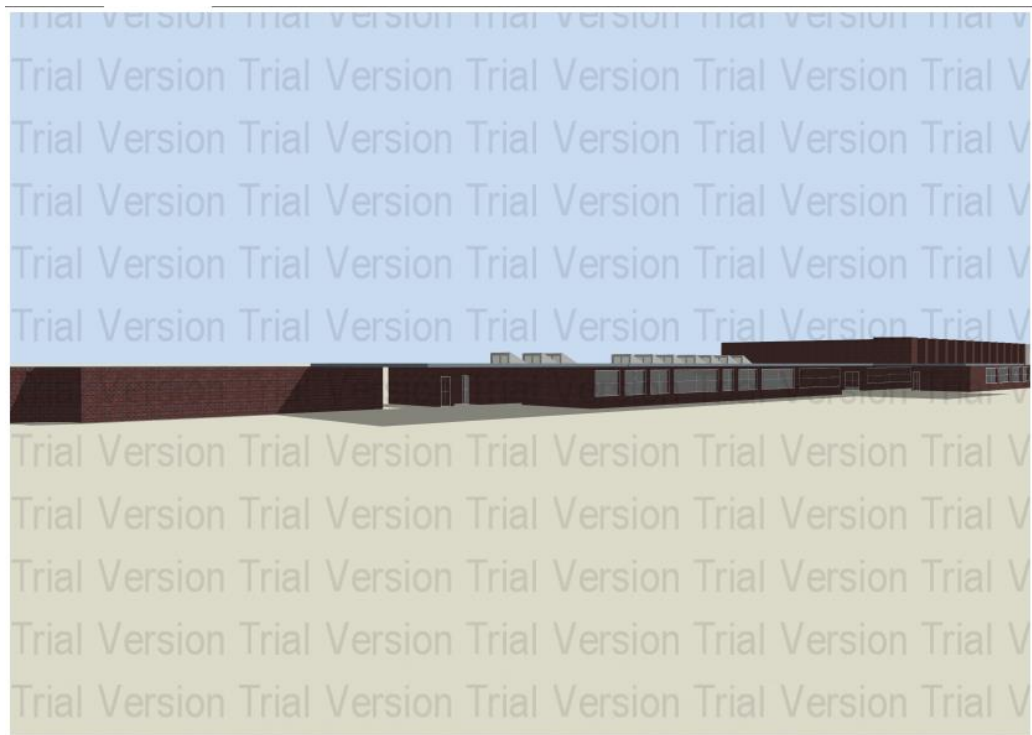


Figura 25: FT4 – Bloco administrativo e bloco da engenharia de produção. Fonte do Autor.



Figura 26: FT5 – Bloco de laboratórios da mecânica. Fonte do Autor.



Figura 27: FT6 – Bloco de redes. Fonte do autor.



Figura 28: FT7 – Bloco de engenharia florestal. Fonte do autor.

A partir das imagens é possível observar que foram consideradas as estruturas adjacentes aos macro blocos de modo a considerar a influência do sombreamento na estrutura analisada. Isto foi realizado para aumentar a precisão da análise tornando o modelo mais próximo da realidade já que a versão de testes não permite a simulação do edifício inteiro e assim não permite inserir todas as influencias das adjacências.

Além disso, nas figuras 22 a 25 é possível observar que foram inseridas as claraboias presentes no telhado da edificação, considerando a influência dessas na transferência de calor para o ambiente. O modo de visualização do Designer Builder também permite visualizar os materiais utilizados e o sombreamento da estrutura podendo-se escolher o dia do ano e a hora do dia de modo a avaliar como as sombras se comportam.

Por fim, vale ressaltar que os *component block* (blocos provenientes do programa que não apresentam zonas térmicas internas, porém geram sombras e barreiras para a transferência de calor.) foram utilizados para construir as adjacências externas dos macro blocos, como por exemplo, lajes externas, paredes e para representarem outras partes do edifício que não estavam sendo simuladas naquele momento. Tais estruturas só podem apresentar um material, assim, elas foram construídas com o material mais significativo que o compoem, como exemplo, podemos observar o caso de uma parede externa, neste caso o material foi definido como tijolo comum já que este configura a maior parte da parede.

Com os macro blocos construídos, realizou-se as simulações de consumo de energia para o edifício.

8. Resultados e Discussões para as Simulações Globais

Esta seção apresentará os resultados obtidos a partir das simulações dos macro blocos criados da FT e sua comparação com os resultados teóricos presentes no Apêndice A e B visando obter a economia global com as ações de eficiência energética.

8.1 Resultados Obtidos com a Simulação da FT1

O resumo dos resultados teóricos calculados para o bloco FT1 podem ser vistos na tabela abaixo. Vale ressaltar que os resultados teóricos detalhados para este e os demais blocos encontram-se nos anexos supracitados e não foram apresentados no decorrer do texto para aumentar sua fluidez.

Tabela 29: Resultados teóricos para o bloco FT1

Sistema	Consumo de Energia antes do retrofit (MWh/a)	Consumo de Energia depois do retrofit (MWh/a)	Economia de Energia
Iluminação	55,53	27,76	27,77
Ar condicionado	122,36	87,88	34,48

Ao realizar a simulação para o bloco no período antes do retrofit obteve-se os seguintes resultados:

Tabela 30: Consumo de energia simulado para FT1 no período antes do retrofit.

Parâmetro	Valor simulado	Variação
Consumo de energia das cargas fixas (MWh/a)	104,99	-
Consumo de energia dos ares condicionados (MWh/a)	123,16	0,653%
Consumo de energia da iluminação (MWh/a)	55,25	0,504%

Assim, é possível observar que a calibração pode ser expandida para o edifício obtendo resultados com variações inferiores a 1% em relação ao cálculo teórico realizado. Tal variação observada advém das simplificações adotadas e da impossibilidade de criação de um modelo computacional que reflita 100% da realidade.

Na sequência foi realizada a simulação do bloco após o retrofit obtendo os seguintes resultados:

Tabela 31: Consumo de energia simulado para FT1 no período antes do retrofit.

Parâmetro	Valor simulado	Variação
Consumo de energia das cargas fixas (MWh/a)	104,99	-
Consumo de energia dos ares condicionados (MWh/a)	88,67	0,898%
Consumo de energia da iluminação (MWh/a)	27,62	0,504%

Observou-se um leve aumento na variação do sistema de ar condicionado após o retrofit, porém seu valor continuou dentro da margem de precisão do projeto. Tal aumento já era esperado, assim como no caso dos ambientes modelos, a calibração do ambiente após a AEE diverge um pouco mais do cálculo teórico. Tal aumento está relacionado a calibração precisão da calibração realizada que se fosse refinada apresentaria resultados mais precisos.

Contudo um projeto de medição e verificação deve avaliar o custo benefício entre melhorar a precisão de seus cálculos e aumentar seu custo e esforço. Mesmo apresentando um aumento da variação esta permaneceu inferior a 1% e dentro de todos os requisitos estabelecidos de modo que a calibração se mostra valida e atende ao objetivo.

A economia de energia calculada para o bloco é exposta na tabela a seguir:

Tabela 32: Economia de energia simulada para FT1 no período antes do retrofit.

Parâmetro	Valor simulado	Variação
Economia de Energia dos ares condicionados (MWh/a)	34,49	1,110%
Economia de Energia da iluminação (MWh/a)	27,63	0,712%

Por fim, foi calculado o efeito interativo obtido no sistema de condicionamento ambiental pela redução da potência do sistema de iluminação. Assim, simulou-se o edifício com o sistema de ar condicionado no período depois do retrofit com o sistema de iluminação anterior a AEE obtendo um aumento de 4,74 MWh/a de consumo neste cenário. Este aumento está diretamente relacionado com o aumento da carga térmica dos ambientes e é um dos fatores que fazem o FUT ser diferente em cada período.

Além da opção de obter o consumo para todo o período simulado o Designer Builder possui a opção de apresentar o consumo mensal. Assim foi feito um gráfico demonstrando a

variação de consumo dos sistemas no decorrer do ano simulado para o período anterior ao retrofit.

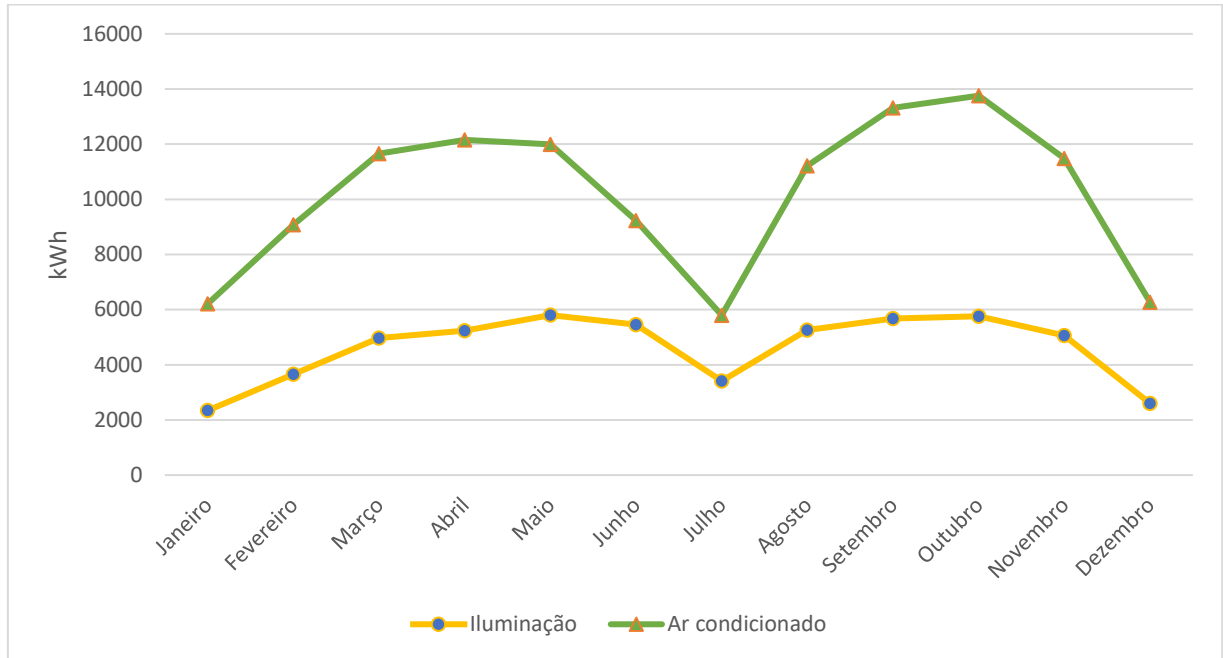


Figura 29: Consumo de energia por sistema no decorrer do ano. Fonte do Autor.

A partir do gráfico é possível notar que os meses de janeiro e dezembro apresentam consumos de energia baixos. Isto ocorre devido as férias de fim de ano, em dezembro a faculdade só funciona plenamente nas duas primeiras semanas enquanto que em janeiro as aulas ainda não voltaram, porém os setores administrativos e os projetos extracurriculares já começaram.

Em fevereiro, as aulas de verão começam o que implica no aumento de consumo observado. Já em março o primeiro semestre começa e é possível ver que nos meses seguintes a universidade tem seu consumo pleno já que está completamente funcional. Em junho, o primeiro semestre começa a terminar e a ocupação vai diminuindo o que se reflete na redução do consumo de energia. Além disso, é possível ver claramente um vale no mês de julho condizente com o período de férias de meio do ano.

O segundo semestre segue o mesmo processo que o primeiro, porém é possível observar que o consumo de energia do ar condicionado sobe em relação ao primeiro semestre. Isto se dá, pois a temperatura nestes meses é mais alta exigindo um uso maior dos equipamentos de condicionamento ambiental.

Assim é possível notar que as simulações foram programadas de modo a se comportarem conforme a curva de ocupação do edifício e se aproximando mais da realidade. Por fim, curvas semelhantes são encontradas em todos os cenários de modo que não serão apresentadas para aumentar a fluidez do texto.

8.2 Resultados obtidos com a simulação da FT2

Os resultados teóricos calculados para o bloco FT2 foram resumidos e podem ser vistos na tabela abaixo.

Tabela 33: Resultados teóricos para o bloco FT2

Sistema	Consumo de Energia antes do retrofit (MWh/a)	Consumo de Energia depois do retrofit (MWh/a)	Economia de Energia
Iluminação	36,36	18,18	18,18
Ar condicionado	66,15	50,91	15,24

Os ares condicionados do bloco da engenharia civil e da engenharia mecânica eram os mais novos da FT e em melhor estado de conservação o que explica a menor redução de consumo nestes macro blocos. Ao realizar a simulação para a FT2 no período antes do retrofit obteve-se os seguintes resultados:

Tabela 34: Consumo de energia simulado para FT2 no período antes do retrofit.

Parâmetro	Valor simulado	Variação
Consumo de energia das cargas fixas (MWh/a)	53,21	-
Consumo de energia dos ares condicionados (MWh/a)	65,69	0,695%
Consumo de energia da iluminação (MWh/a)	36,67	0,852%

Na sequência foi realizada a simulação do bloco após o retrofit obtendo os seguintes resultados:

Tabela 35: Consumo de energia simulado para FT2 no período antes do retrofit.

Parâmetro	Valor simulado	Variação
Consumo de energia das cargas fixas (MWh/a)	53,21	-
Consumo de energia dos ares condicionados (MWh/a)	50,83	0,157%
Consumo de energia da iluminação (MWh/a)	18,33	0,825%

Ambos os resultados obtidos (antes do retrofit e depois do retrofit) apresentam uma variação relativamente baixa e inferior a 1% em relação ao valor teórico. Novamente a variação encontrou-se dentro da faixa de precisão estipulada demonstrando que a calibração da simulação condiz com o esperado.

Neste caso não foi observado um aumento na variação no período depois do retrofit. Tal variação advém da própria calibração da simulação e como a diferença entre ela e a variação calculada no período antes do retrofit não é grande, não foi possível identificar um fator predominante que a causou.

Para realizar uma simulação são realizadas algumas simplificações como expostas no decorrer do trabalho, assim como alguns fatores de menor relevância não são monitorados. Deste modo, avalia-se que esta variação esteja ligada a tais fatores.

A economia de energia calculada para o bloco é exposta na tabela a seguir:

Tabela 36: Economia de energia simulada para FT2 no período antes do retrofit.

Parâmetro	Valor simulado	Variação
Economia de Energia dos ares condicionados (MWh/a)	14,86	0,712%
Economia de Energia da iluminação (MWh/a)	18,34	1,185%

Por fim, foi calculado o efeito interativo obtido no sistema de condicionamento ambiental pela redução da potência do sistema de iluminação. Assim, simulou-se o edifício com o sistema de ar condicionado no período depois do retrofit com o sistema de iluminação anterior a AEE obtendo um aumento de 2,8 MWh/a de consumo neste cenário. Este aumento está diretamente relacionado com o aumento da carga térmica dos ambientes e é um dos fatores que fazem o FUT ser diferente em cada período.

8.3 Resultados obtidos com a simulação da FT3

A tabela abaixo apresenta os resultados sumarizados da análise teórica realizada para o bloco FT3.

Tabela 37: Resultados teóricos para o bloco FT3

Sistema	Consumo de Energia antes do retrofit (MWh/a)	Consumo de Energia depois do retrofit (MWh/a)	Economia de Energia
Iluminação	33,81	16,90	16,91
Ar condicionado	52,43	39,35	13,08

Os ares condicionados do bloco da engenharia civil e da engenharia mecânica eram os mais novos da FT e em melhor estado de conservação o que explica a menor redução de consumo nestes macro blocos. Ao realizar a simulação para a FT3 no período antes do retrofit obteve-se os seguintes resultados:

Tabela 38: Consumo de energia simulado para FT3 no período antes do retrofit.

Parâmetro	Valor simulado	Variação
Consumo de energia das cargas fixas (MWh/a)	51,11	-
Consumo de energia dos ares condicionados (MWh/a)	51,54	1,69%
Consumo de energia da iluminação (MWh/a)	33,85	0,118%

Na sequência foi realizada a simulação do bloco após o retrofit obtendo os seguintes resultados:

Tabela 39: Consumo de energia simulado para FT3 no período antes do retrofit.

Parâmetro	Valor simulado	Variação
Consumo de energia das cargas fixas (MWh/a)	51,11	-
Consumo de energia dos ares condicionados (MWh/a)	38,88	1,19%
Consumo de energia da iluminação (MWh/a)	16,92	0,118%

A partir das simulações observou-se que a variação em relação ao valor teórico para este bloco se mostrou superior aos demais. Este fato ocorreu devido as estimativas utilizadas para utilização, equipamentos fixos e demais parâmetros utilizados na simulação.

As simulações de ambiente modelo foram realizadas em salas do bloco de engenharia elétrica devido a maior facilidade de acesso e ajuda da secretaria do departamento. Assim, foi realizado um estudo aprofundado deste bloco de modo a criar a parametrização dos ambientes. Além disso, foram visitados uma amostra de ambientes dos demais blocos de modo a identificar suas peculiaridades e adaptar a análise para cada um.

Contudo, mesmo realizando a visita desta amostra de salas algumas estimativas foram extrapoladas o que agrega uma incerteza na simulação dos demais blocos. No caso da FT2 não houve problemas com esta extrapolção.

Porém o departamento de mecânica deve apresentar mais peculiaridades e se diferenciar um pouco mais o que se reflete no aumento da variação observada. Porém, vale ressaltar, que todas as medidas encontram-se dentro da faixa de precisão estabelecida e esta variação não compromete os resultados alcançados.

Ainda, como o sistema de iluminação é um sistema mais simples de se simular e apresentar um uso similar em todo o edifício, sua variação não sofre muita influência do fato exposto.

A economia de energia calculada para o bloco é exposta na tabela a seguir:

Tabela 40: Economia de energia simulada para FT3 no período antes do retrofit.

Parâmetro	Valor simulado	Variação
Economia de Energia dos ares condicionados (MWh/a)	12,66	2,066%
Economia de Energia da iluminação (MWh/a)	16,93	0,166%

Por fim, foi calculado o efeito interativo obtido no sistema de condicionamento ambiental pela redução da potência do sistema de iluminação. Assim, simulou-se o edifício com o sistema de ar condicionado no período depois do retrofit com o sistema de iluminação anterior a AEE obtendo um aumento de 1,62 MWh/a de consumo neste cenário. Este aumento está diretamente relacionado com o aumento da carga térmica dos ambientes e é um dos fatores que fazem o FUT ser diferente em cada período.

8.4 Resultados obtidos com a simulação da FT4

O compilado dos principais resultados teóricos obtidos para o bloco FT4 pode ser visto na tabela a seguir.

Tabela 41: Resultados teóricos para o bloco FT4

Sistema	Consumo de Energia antes do retrofit (MWh/a)	Consumo de Energia depois do retrofit (MWh/a)	Economia de Energia
Iluminação	54,64	26,79	27,85
Ar condicionado	60,00	43,61	16,39

Este bloco é o único que apresenta lâmpadas de 20 W, assim a economia advinda do retrofit da iluminação é percentualmente maior nele. Ao realizar a simulação para a FT4 no período antes do retrofit obteve-se os seguintes resultados:

Tabela 42: Consumo de energia simulado para FT4 no período antes do retrofit.

Parâmetro	Valor simulado	Variação
Consumo de energia das cargas fixas (MWh/a)	91,41	-
Consumo de energia dos ares condicionados (MWh/a)	60,09	0,150%
Consumo de energia da iluminação (MWh/a)	55,03	0,713%

Na sequência foi realizada a simulação do bloco após o retrofit obtendo os seguintes resultados:

Tabela 43: Consumo de energia simulado para FT4 no período antes do retrofit.

Parâmetro	Valor simulado	Variação
Consumo de energia das cargas fixas (MWh/a)	91,41	-
Consumo de energia dos ares condicionados (MWh/a)	43,26	0,802%
Consumo de energia da iluminação (MWh/a)	26,40	1,45%

Neste bloco não houve problemas com a variação do sistema de condicionamento ambiental, porém observou-se uma maior variação no sistema de iluminação. Como esta parte da simulação conta com muitas áreas administrativas com acesso mais restrito e conta com o

galpão da engenharia mecânica que possui características distintas dos demais ambientes da FT, a variação pode ser explicada pelo fato de que as estimativas realizadas para os ambientes não englobaram inteiramente as peculiaridades locais causando um aumento da variação. Porém, vale ressaltar que todas as variações encontram-se dentro da faixa de precisão.

A economia de energia calculada para o bloco é exposta na tabela a seguir:

Tabela 44: Economia de energia simulada para FT4 no período antes do retrofit.

Parâmetro	Valor simulado	Variação
Economia de Energia dos ares condicionados (MWh/a)	16,83	0,815%
Economia de Energia da iluminação (MWh/a)	28,63	1,615%

Por fim, foi calculado o efeito interativo obtido no sistema de condicionamento ambiental pela redução da potência do sistema de iluminação. Assim, simulou-se o edifício com o sistema de ar condicionado no período depois do retrofit com o sistema de iluminação anterior a AEE obtendo um aumento de 1,77 MWh/a de consumo neste cenário. Este aumento está diretamente relacionado com o aumento da carga térmica dos ambientes e é um dos fatores que fazem o FUT ser diferente em cada período.

8.5 Resultados obtidos com a simulação da FT5

Resumindo os resultados expostos nos apêndices A e B, foi confeccionada a tabela abaixo:

Tabela 45: Resultados teóricos para o bloco FT5

Sistema	Consumo de Energia antes do retrofit (MWh/a)	Consumo de Energia depois do retrofit (MWh/a)	Economia de Energia
Iluminação	13,644	6,824	6,82
Ar condicionado	15,426	11,14	4,286

Ao realizar a simulação para a FT5 no período antes do retrofit obteve-se os seguintes resultados:

Tabela 46: Consumo de energia simulado para FT5 no período antes do retrofit.

Parâmetro	Valor simulado	Variação
Consumo de energia das cargas fixas (MWh/a)	37,32	-
Consumo de energia dos ares condicionados (MWh/a)	15,421	0,032%
Consumo de energia da iluminação (MWh/a)	13,65	0,073%

Está foi a simulação com a menor variação entre o valor teórico e o simulado para o período antes do retrofit. Pode-se observar que se não fosse aumentado o número de casas significativas a variação do sistema de ar condicionado seria nula.

Na sequência foi realizada a simulação do bloco após o retrofit obtendo os seguintes resultados:

Tabela 47: Consumo de energia simulado para FT5 no período antes do retrofit.

Parâmetro	Valor simulado	Variação
Consumo de energia das cargas fixas (MWh/a)	37,32	-
Consumo de energia dos ares condicionados (MWh/a)	11,10	0,359%
Consumo de energia da iluminação (MWh/a)	6,828	0,058%

As estimativas aplicadas para calibrar o modelo do bloco FT5 apresentaram a menor variação dentre todas as simulações beirando a se igualarem aos cálculos teóricos.

A economia de energia calculada para o bloco é exposta na tabela a seguir:

Tabela 48: Economia de energia simulada para FT5 no período antes do retrofit.

Parâmetro	Valor simulado	Variação
Economia de Energia dos ares condicionados (MWh/a)	4,321	0,360%
Economia de Energia da iluminação (MWh/a)	6,822	0,093%

Por fim, foi calculado o efeito interativo obtido no sistema de condicionamento ambiental pela redução da potência do sistema de iluminação. Assim, simulou-se o edifício com o sistema de ar condicionado no período depois do retrofit com o sistema de iluminação anterior a AEE obtendo um aumento de 0,56 MWh/a de consumo neste cenário. Este aumento está diretamente relacionado com o aumento da carga térmica dos ambientes e é um dos fatores que fazem o FUT ser diferente em cada período.

8.6 Resultados obtidos com a simulação da FT6

A tabela abaixo apresenta os principais resultados obtidos a partir do cálculo teórico realizado para o bloco FT6.

Tabela 49: Resultados teóricos para o bloco FT6

Sistema	Consumo de Energia antes do retrofit (MWh/a)	Consumo de Energia depois do retrofit (MWh/a)	Economia de Energia
Iluminação	14,81	7,40	7,41
Ar condicionado	35,11	24,63	10,47

Este bloco apresenta apenas 4 ares condicionados, porém devido a sua alta potência e tempo de uso, a economia de energia é alta.

Ao realizar a simulação para a FT6 no período antes do retrofit obteve-se os seguintes resultados:

Tabela 50: Consumo de energia simulado para FT6 no período antes do retrofit.

Parâmetro	Valor simulado	Variação
Consumo de energia das cargas fixas (MWh/a)	68,22	-
Consumo de energia dos ares condicionados (MWh/a)	35,66	1,566%
Consumo de energia da iluminação (MWh/a)	14,85	0,270%

Na sequência foi realizada a simulação do bloco após o retrofit obtendo os seguintes resultados:

Tabela 51: Consumo de energia simulado para FT6 no período antes do retrofit.

Parâmetro	Valor simulado	Variação
Consumo de energia das cargas fixas (MWh/a)	68,22	-
Consumo de energia dos ares condicionados (MWh/a)	24,15	1,948%
Consumo de energia da iluminação (MWh/a)	7,42	0,270%

Este bloco apresentou a maior variação no sistema de ar condicionado indicando que as estimativas extrapoladas agregaram uma maior incerteza em sua simulação. As salas desta parte

apresentam peculiaridades distintas que não foram totalmente abrangidas pelos ajustes, porém, mesmo com a maior incerteza, as medições se mantiveram dentro da faixa de precisão estabelecida.

A economia de energia calculada para o bloco é exposta na tabela a seguir:

Tabela 52: Economia de energia simulada para FT6 no período antes do retrofit.

Parâmetro	Valor simulado	Variação
Economia de Energia dos ares condicionados (MWh/a)	11,51	2,499%
Economia de Energia da iluminação (MWh/a)	7,43	0,381%

Por fim, foi calculado o efeito interativo obtido no sistema de condicionamento ambiental pela redução da potência do sistema de iluminação. Assim, simulou-se o edifício com o sistema de ar condicionado no período depois do retrofit com o sistema de iluminação anterior a AEE obtendo um aumento de 0,37 MWh/a de consumo neste cenário. Este aumento está diretamente relacionado com o aumento da carga térmica dos ambientes e é um dos fatores que fazem o FUT ser diferente em cada período.

8.7 Resultados obtidos com a simulação da FT7

Por fim, a tabela a seguir apresenta os resultados globais obtidos a partir dos cálculos teóricos para o bloco FT7.

Tabela 53: Resultados teóricos para o bloco FT7

Sistema	Consumo de Energia antes do retrofit (MWh/a)	Consumo de Energia depois do retrofit (MWh/a)	Economia de Energia
Iluminação	13,52	6,76	6,76
Ar condicionado	29,75	20,11	9,64

Ao realizar a simulação para a FT7 no período antes do retrofit obteve-se os seguintes resultados:

Tabela 54: Consumo de energia simulado para FT7 no período antes do retrofit.

Parâmetro	Valor simulado	Variação
Consumo de energia das cargas fixas (MWh/a)	31,11	-
Consumo de energia dos ares condicionados (MWh/a)	29,71	0,134%
Consumo de energia da iluminação (MWh/a)	13,60	0,591%

Na sequência foi realizada a simulação do bloco após o retrofit obtendo os seguintes resultados:

Tabela 55: Consumo de energia simulado para FT7 no período antes do retrofit.

Parâmetro	Valor simulado	Variação
Consumo de energia das cargas fixas (MWh/a)	31,11	-
Consumo de energia dos ares condicionados (MWh/a)	20,09	0,099%
Consumo de energia da iluminação (MWh/a)	6,80	0,591%

As simulações realizadas para este bloco apresentaram uma variação baixa em torno do valor teórico calculado demonstrando que a calibração realizada conseguiu se adequar ao ambiente gerando resultados satisfatórios.

A economia de energia calculada para o bloco é exposta na tabela a seguir:

Tabela 56: Economia de energia simulada para FT7 no período antes do retrofit.

Parâmetro	Valor simulado	Variação
Economia de Energia dos ares condicionados (MWh/a)	9,62	0,166%
Economia de Energia da iluminação (MWh/a)	6,8	0,835%

Por fim, foi calculado o efeito interativo obtido no sistema de condicionamento ambiental pela redução da potência do sistema de iluminação. Assim, simulou-se o edifício com o sistema de ar condicionado no período depois do retrofit com o sistema de iluminação anterior a AEE obtendo um aumento de 0,97 MWh/a de consumo neste cenário. Este aumento está diretamente relacionado com o aumento da carga térmica dos ambientes e é um dos fatores que fazem o FUT ser diferente em cada período.

8.8 Economia de Energia obtida com o projeto

Após calcular a economia de energia de todas as partes é possível soma-las de modo a encontrar a economia global do projeto para a instalação. Além disso, deve-se considerar a precisão do programa utilizado.

O Designer Builder possui precisão de duas casas decimais após a virgula o que insere uma variação adicional de 0,01 em todas as medidas.

A tabela a seguir apresenta o compilado das economias de cada bloco e a economia total obtida no projeto.

Tabela 57: Economia de energia global do projeto.

Bloco	Economia condicionamento (MWh/a)	Variação	Economia iluminação (MWh/a)	Variação
FT1	34,49	1,120%	27,63	0,722%
FT2	14,86	0,722%	18,34	1,195%
FT3	12,66	2,076%	16,93	0,176%
FT4	16,83	0,825%	28,63	1,625%
FT5	4,321	0,370%	6,82	0,103%
FT6	11,51	2,509%	7,43	0,391%
FT7	9,62	0,176%	6,80	0,845%
Total	104,291	3,637%	112,58	2,344%

Assim em ambos os sistemas ambas as incertezas se mantiveram inferiores ao limite de 10% estabelecido. Além disso, os resultados obtidos condizem com os resultados teóricos dentro da margem de precisão.

9. Conclusão

Na primeira fase do trabalho de conclusão de curso levantou-se o referencial bibliográfico necessário para embasar o estudo de medição e verificação proposto. Deste modo foram analisadas as particularidades de cada opção de M&V, sua aplicabilidade e seu processo de realização de modo a entender cada uma delas e permitir a aplicação da opção D conforme proposto como objetivo do trabalho.

Foi realizada a simulação de modelos de modo a caracterizar os ambientes e criar uma parametrização para o programa capaz de calibrá-lo e permitir sua extrapolação para o nível do edifício como um todo. Durante o processo de calibração foram realizadas diversas visitas à Faculdade de Tecnologia com o objetivo de levantar sua ocupação, disposição dos equipamentos, horários de funcionamento, características da envoltória e outras informações importantes para calibração.

Estas visitas se concentraram no departamento de engenharia elétrica de modo que muitas das estimativas realizadas para ambientes com poucas informações foram feitas levando em consideração ambientes semelhantes presentes na elétrica. Este processo mostrou-se válido na maioria dos casos obtendo bons resultados, porém houve casos como no bloco FT3 e FT6 nos quais as estimativas não geraram uma calibração tão precisa quanto nos demais. Porém, os resultados obtidos se mostraram sólidos aproximando-se do consumo teórico calculado para os macro blocos. Além disso se mantiveram dentro da margem de precisão em todos os casos.

Ainda, foi definida a curva de ocupação da edificação seguindo a variação típica encontrada na faculdade no decorrer do ano verificando a queda no consumo de energia nos períodos de férias e a redução do consumo conforme o semestre vai se aproximando do fim. Outro fato observado foi a influência da temperatura no consumo dos ar-condicionados no segundo semestre letivo.

Assim o trabalho permitiu conhecer e analisar diversas faces do processo de medição e verificação complementando a formação profissional em um tema ainda pouco difundido no país. Além disso, optou-se por trazer os capítulos iniciais de referencial teórico de modo a criar uma introdução sobre o tema e criar um compilado de informações para que possa auxiliar na difusão deste conhecimento.

Por fim, os resultados obtidos tanto na calibração da simulação computacional quanto considerações realizadas nos cálculos teóricos de modo a aproximá-los da realidade se mostraram satisfatórios atingindo os objetivos propostos no trabalho.

Bibliografia

Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL. “**Guia de M&V**” 2013. Primeira revisão, Brasília, Brasil.

Altoé, L. et al. “**Políticas públicas de incentivo a eficiência energética**”. 2017. Revista Estudos Avançados, volume 31, n. 89. ISSN 0103-4014.

Assunção, J. e Schutze, A. “**Panorama da eficiência energética no Brasil**”. 2017. Rio de Janeiro, Climate Policy Initiative, Núcleo de avaliação de políticas climáticas. Pontifícia Universidade Católica, Rio de Janeiro.

British Petroleum – BP, “*BP Statistical Review of World Energy*”. 2018. 67º edição. Disponível em: <https://www.bp.com/content/dam/bp/businesssites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2018-full-report.pdf> Acessado em: 26 de março de 2019.

US Report of the National Policy Development Group. “*Using energy wisely. Increasing Energy Conservation and Efficiency. In: Reliable affordable and environmentally sound energy for the American Future*”. Washington, maio, 2001.

Brasil. “**Lei eficiência energética: Lei 10295 de 2001**” Brasília, Distrito Federal. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/LEIS_2001/L10295.htm Acessado em: 21 de abril de 2019.

Brasil. “**Lei 9991 de 2000**”. Brasília, Distrito Federal Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L9991.htm Acessado em: 22 de abril de 2019.

EMBRASUL. “**Analisadores de Energia: RE8000 classe A**”. 2019. Disponível em: <http://www.embrasul.com.br/solucoes-detahes?id=3&title=RE8000%20Classe%20A> . Acessado em 18 de junho de 2019.

Efficiency Valuation Organization - EVO. “*What is M&V*”. 2019. Disponível em: <https://evo-world.org/en/m-v/what-is-m-v> . Acessado em: 25 de março de 2019

Efficiency Valuation Organization – EVO. “**Protocolo Internacional de Medição e Verificação de Performance Conceitos e Opções para Determinação de economias de Energia e de Água**”. 2012. Volume 1. Canadá.

Empresa de Pesquisa Energética – EPE. “**Nota técnica EPE 030/2018. Uso de ar condicionado no setor residencial Brasileiro: Perspectivas e contribuições para o avanço em eficiência energética**”. Brasília. 2018. Disponível em: http://epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-341/NT%20EPE%20030_2018_18Dez2018.pdf Acessado em: Agosto de 2019.

Instituto Nacional de Eficiência Energética – INEE. “**Medição e Verificação**”. 2019. Disponível em: http://www.inee.org.br/escos_mev.asp?Cat=mev Acessado em: 25 de março de 2019.

International Energy Agency – IEA. “Market Report Series: Energy Efficiency 2018”. IEA, 2018.

International Energy Agency – IEA. “Joint public-private approaches for energy efficiency finance”. IEA, 2011.

International Energy Agency – IEA. “Lighting retrofit in current practice: Evaluation of an international survey”. IEA, 2016.

SANTANA, T. E. L. S. e CRUZ, A. F. S. “**Estudo do potencial de conservação de energia através do controle do carregamento de geladeira e ar condicionado**”. Salvador, 2016. UNIFACS, Universidade Salvador. Disponível em: <https://revistas.unifacs.br/index.php/sepa/article/viewFile/4353/3021> Acessado em: Setembro de 2019.

Souza et al. “**Os programas Brasileiros em eficiência energética como agentes de reposicionamento do setor elétrico**” 2011. Revista Tecnologia e Sociedade, 1ª edição. ISSN: 1984-3526.

VERDE, V. S. V. “**A conservação de energia elétrica no novo modelo institucional do setor elétrico brasileiro**”. Rio de Janeiro, 2000. Dissertação (Mestrado em Ciências: Planejamento Energético), Universidade Federal do Rio de Janeiro.

WEBER ET AL. “**Desenvolvimento de um modelo equivalente de avaliação de propriedades térmicas para elaboração de uma biblioteca de componentes construtivos brasileiros para o uso no programa EnergyPlus**” Santa catarina, 2017. Universidade Federal de Santa Catarina.

Apêndice A: Cálculos da economia teórica para o sistema de iluminação

As tabelas a seguir visa apresentar os cálculos realizados para a economia teórica a ser obtida com o retrofit do sistema de iluminação seguindo a metodologia apresentada no trabalho.

Tabela A1: Tabela resumo para cálculo da estimativa de consumo do sistema antes do retrofit.

Iluminação do período <i>Antes do retrofit</i>								
		Total	Sistema 1	Sistema 2	Sistema 3	Sistema 4	Sistema 5	Sistema 6
Tipo de lâmpada		-	LFT	LFT	LFT	LFT	LFT	LFT
Lâmpadas	Potência (W)	-	32	32	32	32	32	32
	Quantidade	2970	162	362	202	928	630	56
Reatores	Potência (W)	-	8	8	8	8	8	8
	Quantidade	1485	81	181	101	464	315	28
Potência instalada (W)		-	5832	13032	7272	33408	22680	2016
Tempo de utilização diário		-	14	14	10	10	10	12
Dias de utilização no ano		-	240	200	240	210	200	240
Funcionamento		-	3360	2800	2400	2100	2000	2880
Horas de funcionamento em Ponta		-	3	3	0	0	0	3
Dias de utilização no ano		-	222	195	0	0	0	222
Meses de utilização ao ano		-	12	12	12	12	12	12
Potência média na ponta (kW)		-	4904,18	9625,91	0,00	0,00	0,00	1695,27
Fator de coincidência na ponta		-	1	1	1	1	1	1
Energia Consumida (MWh/ano)		222,34	19,60	36,49	17,45	70,16	45,36	5,81
Demanda média na ponta (kW)		27,95	4,90	9,63	0,00	0,00	0,00	1,70
Iluminação do período <i>Antes do retrofit</i>								
		Sistema 7	Sistema 8	Sistema 9	Sistema 10	Sistema 11	Sistema 12	Sistema 13
Tipo de lâmpada		LFT	LFT	LFT	LFT			
Lâmpadas	32	32	32	32	20			
	344	344	160	56	70			
Reatores	8	8	8	8	8			
	172	172	80	28	35			

		Sistema 7	Sistema 8	Sistema 9	Sistema 10	Sistema 11	Sistema 12	Sistema 13
Tipo de lâmpada		LED Tub.	LED Tub.	LED Tub.	LED Tub.			
Lâmpadas	18	18	18	18	9			
	344	344	160	56	70			
Reatores	0	0	0	0	0			
	0	0	0	0	0			
Potência instalada (kW)		6192	2880	1008	630			
Tempo de utilização diário		6	4	2	12			
Dias de utilização no ano		240	200	200	210			
Funcionamento		1440	800	400	2520			
Horas de funcionamento em Ponta		3	0	0	3			
Dias de utilização em um mês		222	0	0	206			
Meses de utilização ao ano		12	12	12	12			
Potência média na ponta (kW)		5206,91	0,00	0,00	491,59			
Fator de coincidência na ponta		1	1	1	1			
Energia Consumida (MWh/ano)		8,92	2,30	0,40	1,59			
Demanda média na ponta (kW)		5,21	0,00	0,00	0,49			

As tabelas apresentam os parâmetros definidos para realização dos cálculos de energia consumida e potência requerida pelo sistema antes e após o retrofit da iluminação. Todos os cálculos seguiram a metodologia apresentada neste trabalho de conclusão de curso e a estimativa de horas embasou-se no cronograma de utilização dos ambientes. Vale ressaltar que no distrito federal o horário de ponta definido pela distribuidora local (CEB-D) começa às 18h e termina às 21h de modo que para definir o número de horas de utilização em ponta considerou-se o número de horas que o ambiente permanecia ocupado do período de ponta.

Além disso foi calculado o consumo de energia por macro ambiente simulado, as tabelas a seguir mostram o quantitativo de lâmpadas e seu respectivo consumo para cada caso:

Tabela A2: Consumo de energia FT1

Ambiente	Qntd.	Potência antes (W)	Potência depois (W)	Horas	Dias	Consumo Antes (kWh/a)	Consumo depois (kWh/a)
Sala de aula 1	156	36	18	10	200	11232,00	5616,00

Sala de aula 2	64	36	18	14	200	6451,20	3225,60
Administrativa 1	60	36	18	14	240	7257,60	3628,80
Administrativa 2	18	36	18	10	240	1555,20	777,60
Professor	208	36	18	10	210	15724,80	7862,40
Lab	64	36	18	10	210	4838,40	2419,20
Rack	8	36	18	2	200	115,20	57,60
Área externa 1	28	36	18	12	240	2903,04	1451,52
Área externa 2	92	36	18	6	240	4769,28	2384,64
Banheiros	24	36	18	4	200	691,20	345,60
Total	722	-	-	-	-	55537,92	27768,96

Tabela A3: Consumo de energia FT2

Ambiente	Qntd.	Potência antes (W)	Potência depois (W)	Horas	Dias	Consumo Antes (kWh/a)	Consumo depois (kWh/a)
Sala de aula 1	188	36	18	10	200	13536	6768
Sala de aula 2	48	36	18	14	200	4838,4	2419,2
Administrativa 1	20	36	18	14	240	2419,2	1209,6
Administrativa 2	20	36	18	10	240	1728	864
Professor	142	36	18	10	210	10735,2	5367,6
Rack	2	36	18	2	200	28,8	14,4
Área externa 2	46	36	18	6	240	2384,64	1192,32
Banheiros	24	36	18	4	200	691,2	345,6
Total	490	-	-	-	-	36361,44	18180,72

Tabela A4: Consumo de energia FT3

Ambiente	Qntd.	Potência antes (W)	Potência depois (W)	Horas	Dias	Consumo Antes (kWh/a)	Consumo depois (kWh/a)
Sala de aula 1	158	36	18	10	200	11376	5688
Sala de aula 2	40	36	18	14	200	4032	2016
Administrativa 1	20	36	18	14	240	2419,2	1209,6
Administrativa 2	28	36	18	10	240	2419,2	1209,6
Professor	138	36	18	10	210	10432,8	5216,4
Rack	4	36	18	2	200	57,6	28,8

Área externa 2	46	36	18	6	240	2384,64	1192,32
Banheiros	24	36	18	4	200	691,2	345,6
Total	458	-	-	-	-	33812,64	16906,32

Tabela A5: Consumo de energia FT4

Ambiente	Qntd.	Potência antes (W)	Potência depois (W)	Horas	Dias	Consumo Antes (kWh/a)	Consumo depois (kWh/a)
Sala de aula 1	64	36	18	10	200	4608	2304
Sala de aula 2	210	36	18	14	200	21168	10584
Administrativa 1	62	36	18	14	240	7499,52	3749,76
Administrativa 2	40	36	18	10	240	3456	1728
Professor	36	36	18	10	210	2721,6	1360,8
Lab	32	36	18	10	210	2419,2	1209,6
Rack	12	36	18	2	200	172,8	86,4
Área externa 1	28	36	18	12	240	2903,04	1451,52
Área externa 2	92	36	18	6	240	4769,28	2384,64
Banheiros	24	36	18	4	200	691,2	345,6
Galpão	70	24	9	12	210	4233,6	1587,6
Total	670	-	-	-	-	54642,24	26791,92

Tabela A6: Consumo de energia FT5

Ambiente	Qntd.	Potência antes (W)	Potência depois (W)	Horas	Dias	Consumo Antes (kWh/a)	Consumo depois (kWh/a)
Sala de aula 1	20	36	18	10	200	1440	720
Administrativa 2	40	36	18	10	240	3456	1728
Professor	42	36	18	10	210	3175,2	1587,6
Lab	42	36	18	10	210	3175,2	1587,6
Rack	14	36	18	2	200	201,6	100,8
Área externa 2	28	36	18	6	240	1451,52	725,76
Banheiros	26	36	18	4	200	748,8	374,4
Total	212	-	-	-	-	13648,32	6824,16

Tabela A7: Consumo de energia FT6

Ambiente	Qntd.	Potência antes (W)	Potência depois (W)	Horas	Dias	Consumo Antes (kWh/a)	Consumo depois (kWh/a)
Sala de aula 1	32	36	18	10	200	2304	1152
Administrativa 2	18	36	18	10	240	1555,2	777,6
Professor	62	36	18	10	210	4687,2	2343,6
Lab	62	36	18	10	210	4687,2	2343,6
Rack	16	36	18	2	200	230,4	115,2
Área externa 2	16	36	18	6	240	829,44	414,72
Banheiros	18	36	18	4	200	518,4	259,2
Total	224	-	-	-	-	14811,84	7405,92

Tabela A8: Consumo de energia FT7

Ambiente	Qntd.	Potência antes (W)	Potência depois (W)	Horas	Dias	Consumo Antes (kWh/a)	Consumo depois (kWh/a)
Sala de aula 1	12	36	18	10	200	864	432
Administrativa 2	38	36	18	10	240	3283,2	1641,6
Professor	100	36	18	10	210	7560	3780
Área externa 2	24	36	18	6	240	1244,16	622,08
Banheiros	20	36	18	4	200	576	288
Total	194	-	-	-	-	13527,36	6763,68

FUT	0,74	0,74	0,74	0,74	0,74	0,74	0,74
Potência média utilizada (kW)	4,88	0,53	0,53	0,53	0,82	0,49	0,48
Horas de funcionamento diárias	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00
Dias de funcionamento anual	210,00	210,00	210,00	210,00	210,00	210,00	210,00
Funcionamento	2100,00	2100,00	2100,00	2100,00	2100,00	2100,00	2100,00
Horas de utilização em ponta	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Dias de utilização em ponta no mês	206,00	206,00	206,00	206,00	206,00	206,00	206,00
Meses de utilização no ano	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00
Potência média em ponta (kW)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Fator de coincidência na ponta	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Energia consumida (MWh/ano)	10,24	1,11	1,11	1,11	1,71	1,03	1,00
Demanda média na ponta (kW)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Condicionamento Ambiental – <i>Ex ante</i>							
	Sist.14	Sist. 15	Sist. 16	Sist. 17	Sist. 18	Sist. 19	Sist. 20
Tipo de Ar condicionado	JANELA	JANELA	JANELA	JANELA	JANELA	JANELA	SPLIT
Capacidade de refrigeração (BTU/h)	10000,00	18000,00	7000,00	10000,00	10000,00	10000,00	12000,00
Coeficiente de Performance	2,27	2,37	2,27	2,39	2,37	2,39	2,39
Quantidade	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Potência instalada (kW)	1,29	2,22	0,90	1,23	1,24	1,23	1,47
FUC	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
FUT	0,74	0,74	0,74	0,74	0,74	0,74	0,74
Potência média utilizada (kW)	0,72	1,23	0,50	0,68	0,69	0,68	0,82
Horas de funcionamento diárias	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00
Dias de funcionamento anual	210,00	210,00	210,00	210,00	210,00	210,00	210,00
Funcionamento	2100,00	2100,00	2100,00	2100,00	2100,00	2100,00	2100,00
Horas de utilização em ponta	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Dias de utilização em ponta no mês	206,00	206,00	206,00	206,00	206,00	206,00	206,00
Meses de utilização no ano	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00
Potência média em ponta (kW)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Fator de coincidência na ponta	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Energia consumida (MWh/ano)	1,50	2,59	1,05	1,43	1,44	1,43	1,71
Demanda média na ponta (kW)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Condicionamento Ambiental – <i>Ex ante</i>							
	Sist.21	Sist. 22	Sist. 23	Sist. 24	Sist. 25	Sist. 26	Sist. 27
Tipo de Ar condicionado	JANELA	SPLIT	SPLIT	SPLIT	SPLIT	SPLIT	SPLIT
Capacidade de refrigeração (BTU/h)	12000,00	18000,00	24000,00	24000,00	24000,00	21000,00	22000,00
Coeficiente de Performance	2,38	2,36	2,37	2,36	2,40	2,38	2,36
Quantidade	1,00	1,00	1,00	1,00	2,00	2,00	1,00

Potência instalada (kW)	1,48	2,23	2,97	2,98	5,86	5,17	2,73
FUC	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
FUT	0,74	0,74	0,74	0,74	0,74	0,74	0,74
Potência média utilizada (kW)	0,82	1,24	1,65	1,65	3,25	2,87	1,52
Horas de funcionamento diárias	10,00	14,00	14,00	14,00	10,00	10,00	14,00
Dias de funcionamento anual	210,00	200,00	200,00	200,00	200,00	200,00	240,00
Funcionamento	2100,00	2800,00	2800,00	2800,00	2000,00	2000,00	3360,00
Horas de utilização em ponta	0,00	1,00	1,00	1,00	0,00	0,00	1,00
Dias de utilização em ponta no mês	206,00	195,00	195,00	195,00	195,00	195,00	222,00
Meses de utilização no ano	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00
Potência média em ponta (kW)	0,00	0,31	0,41	0,41	0,00	0,00	0,42
Fator de coincidência na ponta	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Energia consumida (MWh/ano)	1,72	3,47	4,61	4,63	6,50	5,74	5,09
Demanda média na ponta (kW)	0,00	0,31	0,41	0,41	0,00	0,00	0,42
Condicionamento Ambiental – <i>Ex ante</i>							
	Sist.28	Sist. 29	Sist. 30	Sist. 31	Sist. 32	Sist. 33	Sist. 34
Tipo de Ar condicionado	SPLIT	JANELA	JANELA	SPLIT	SPLIT	SPLIT	SPLIT
Capacidade de refrigeração (BTU/h)	24000,00	21000,00	10000,00	12000,00	9000,00	7000,00	7000,00
Coeficiente de Performance	2,36	2,38	2,38	2,38	2,38	2,27	2,39
Quantidade	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Potência instalada (kW)	2,98	2,58	1,23	1,48	1,11	0,90	0,86
FUC	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
FUT	0,74	0,74	0,74	0,74	0,74	0,74	0,74
Potência média utilizada (kW)	1,65	1,43	0,68	0,82	0,61	0,50	0,48
Horas de funcionamento diárias	14,00	14,00	14,00	10,00	10,00	10,00	10,00
Dias de funcionamento anual	240,00	240,00	240,00	240,00	240,00	210,00	210,00
Funcionamento	3360,00	3360,00	3360,00	2400,00	2400,00	2100,00	2100,00
Horas de utilização em ponta	1,00	1,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Dias de utilização em ponta no mês	222,00	222,00	222,00	222,00	222,00	206,00	206,00
Meses de utilização no ano	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00
Potência média em ponta (kW)	0,46	0,40	0,19	0,00	0,00	0,00	0,00
Fator de coincidência na ponta	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Energia consumida (MWh/ano)	5,55	4,82	2,29	1,97	1,48	1,05	1,00
Demanda média na ponta (kW)	0,46	0,40	0,19	0,00	0,00	0,00	0,00
Condicionamento Ambiental – <i>Ex ante</i>							
	Sist. 35	Sist. 36	Sist. 37	Sist. 38	Sist. 39	Sist. 40	Sist. 41
Tipo de Ar condicionado	JANELA	SPLIT	JANELA	SPLIT	SPLIT	SPLIT	SPLIT
Capacidade de refrigeração (BTU/h)	7000,00	12000,00	12500,00	10000,00	7000,00	24000,00	12000,00

Coeficiente de Performance	2,27	2,41	2,38	2,31	2,39	2,38	2,37
Quantidade	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Potência instalada (kW)	0,90	1,46	1,54	1,27	0,86	2,95	1,48
FUC	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
FUT	0,74	0,74	0,74	0,74	0,74	0,74	0,74
Potência média utilizada (kW)	0,50	0,81	0,85	0,70	0,48	1,64	0,82
Horas de funcionamento diárias	10,00	10,00	10,00	24,00	10,00	10,00	10,00
Dias de funcionamento anual	210,00	210,00	210,00	210,00	210,00	210,00	200,00
Funcionamento	2100,00	2100,00	2100,00	5040,00	2100,00	2100,00	2000,00
Horas de utilização em ponta	0,00	0,00	0,00	3,00	0,00	0,00	0,00
Dias de utilização em ponta no mês	206,00	206,00	206,00	206,00	206,00	206,00	195,00
Meses de utilização no ano	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00
Potência média em ponta (kW)	0,00	0,00	0,00	0,55	0,00	0,00	0,00
Fator de coincidência na ponta	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Energia consumida (MWh/ano)	1,05	1,70	1,79	3,55	1,00	3,44	1,65
Demanda média na ponta (kW)	0,00	0,00	0,00	0,55	0,00	0,00	0,00
Condicionamento Ambiental – Ex ante							
	Sist. 42	Sist. 43	Sist. 44	Sist. 45	Sist. 46	Sist. 47	Sist. 48
Tipo de Ar condicionado	JANELA	JANELA	JANELA	JANELA	JANELA	SPLIT	SPLIT
Capacidade de refrigeração (BTU/h)	30000	21000	21000	21000	21000	12000	12000
Coeficiente de Performance	2,6	2,6	2,6	2,6	2,6	2,65	2,6
Quantidade	1	1	1	1	1	1	1
Potência instalada (kW)	3,38	2,37	2,37	2,37	2,37	1,33	1,35
FUC	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
FUT	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
Potência média utilizada (kW)	1,90	1,33	1,33	1,33	1,33	0,75	0,76
Horas de funcionamento diárias	14	14	14	10	10	24	14
Dias de funcionamento anual	200	200	200	200	200	365	240
Funcionamento	2800,00	2800,00	2800,00	2000,00	2000,00	8760,00	3360,00
Horas de utilização em ponta	1,00	1,00	1,00	0,00	0,00	3,00	1,00
Dias de utilização em ponta no mês	195,00	195,00	195,00	195,00	195,00	264,00	222,00
Meses de utilização no ano	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00
Potência média em ponta (kW)	0,47	0,33	0,33	0,00	0,00	0,75	0,21
Fator de coincidência na ponta	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Energia consumida (MWh/ano)	5,32	3,73	3,73	2,66	2,66	6,54	2,55
Demanda média na ponta (kW)	0,47	0,33	0,33	0,00	0,00	0,75	0,21
Condicionamento Ambiental – Ex ante							
	Sist. 49	Sist. 50	Sist. 51	Sist. 52	Sist. 53	Sist. 54	Sist. 55

Potência média em ponta (kW)	0,00	0,58	0,00	0,29	0,77	0,17	0,13
Fator de coincidência na ponta	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Energia consumida (MWh/ano)	1,38	6,56	6,25	3,28	8,75	2,04	1,59
Demanda média na ponta (kW)	0,00	0,58	0,00	0,29	0,77	0,17	0,13
Condicionamento Ambiental – Ex ante							
	Sist. 91	Sist. 92	Sist.93	Sist. 94	Sist. 95	Sist. 96	Sist. 97
Tipo de Ar condicionado	SPLIT	SPLIT	SPLIT	JANELA	JANELA	JANELA	SPLIT
Capacidade de refrigeração (BTU/h)	9000	12000	18000	18000	21000	21000	12000
Coeficiente de Performance	2,28	2,27	2,26	2,28	2,27	2,27	2,27
Quantidade	1	1	1	1	2	1	2
Potência instalada (kW)	1,16	1,55	2,33	2,31	5,42	2,71	3,10
FUC	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
FUT	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70
Potência média utilizada (kW)	0,61	0,81	1,22	1,21	2,85	1,42	1,63
Horas de funcionamento diárias	14	10	14	10	14	10	14
Dias de funcionamento anual	240	240	240	240	240	240	200
Funcionamento	3360,00	2400,00	3360,00	2400,00	3360,00	2400,00	2800,00
Horas de utilização em ponta	1,00	0,00	1,00	0,00	1,00	0,00	1,00
Dias de utilização em ponta no mês	222,00	222,00	222,00	222,00	222,00	222,00	195,00
Meses de utilização no ano	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00
Potência média em ponta (kW)	0,17	0,00	0,34	0,00	0,80	0,00	0,40
Fator de coincidência na ponta	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Energia consumida (MWh/ano)	2,04	1,95	4,12	2,91	9,56	3,41	4,55
Demanda média na ponta (kW)	0,17	0,00	0,34	0,00	0,80	0,00	0,40
Condicionamento Ambiental – Ex ante							
	Sist. 98	Sist. 99	Sist.100	Sist. 101	Sist. 102	Sist. 103	Sist. 104
Tipo de Ar condicionado	JANELA	SPLIT	SPLIT	SPLIT	SPLIT	janela	split
Capacidade de refrigeração (BTU/h)	18000	30000	7000	7000	7000	12000	12000
Coeficiente de Performance	2,27	2,27	2,27	2,28	2,27	2,27	2,27
Quantidade	2	2	1	1	1	1	1
Potência instalada (kW)	4,65	7,74	0,90	0,90	0,90	1,55	1,55
FUC	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
FUT	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70
Potência média utilizada (kW)	2,44	4,06	0,47	0,47	0,47	0,81	0,81
Horas de funcionamento diárias	14	14	10	10	10	10	10
Dias de funcionamento anual	200	200	210	210	210	210	240
Funcionamento	2800,00	2800,00	2100,00	2100,00	2100,00	2100,00	2400,00
Horas de utilização em ponta	1,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Dias de utilização em ponta no mês	195,00	195,00	206,00	206,00	206,00	206,00	222,00
Meses de utilização no ano	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00
Potência média em ponta (kW)	0,60	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Fator de coincidência na ponta	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Energia consumida (MWh/ano)	6,83	11,38	1,00	0,99	1,00	1,71	1,95
Demanda média na ponta (kW)	0,60	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Condicionamento Ambiental – Ex ante							
	Sist. 105	Sist. 106	Sist.107	Sist. 108	Sist. 109	Sist. 110	Sist. 111
Tipo de Ar condicionado	split	SPLIT	JANELA	JANELA	JANELA	JANELA	SPLIT
Capacidade de refrigeração (BTU/h)	9000	12000	21000	21000	10000	10000	12000
Coeficiente de Performance	2,28	2,28	2,32	2,31	2,27	2,36	2,28
Quantidade	1	1	2	1	3	1	1
Potência instalada (kW)	1,16	1,54	5,30	2,66	3,87	1,24	1,54
FUC	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
FUT	0,70	0,70	0,67	0,67	0,67	0,67	0,67
Potência média utilizada (kW)	0,61	0,81	2,66	1,34	1,95	0,62	0,77
Horas de funcionamento diárias	10	10	10	10	10	10	10
Dias de funcionamento anual	210	210	210	210	210	210	210
Funcionamento	2100,00	2100,00	2100,00	2100,00	2100,00	2100,00	2100,00
Horas de utilização em ponta	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Dias de utilização em ponta no mês	206,00	206,00	206,00	206,00	206,00	206,00	206,00
Meses de utilização no ano	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00
Potência média em ponta (kW)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Fator de coincidência na ponta	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Energia consumida (MWh/ano)	1,27	1,70	5,60	2,81	4,08	1,31	1,63
Demanda média na ponta (kW)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Condicionamento Ambiental – Ex ante							
	Sist. 112	Sist. 113	Sist.114	Sist. 115	Sist. 116	Sist. 117	Sist. 118
Tipo de Ar condicionado	SPLIT	SPLIT	SPLIT	SPLIT	SPLIT	SPLIT	JANELA
Capacidade de refrigeração (BTU/h)	7000	30000	54000	21000	12000	18000	21000
Coeficiente de Performance	2,27	2,27	2,21	2,27	2,21	2,21	2,21
Quantidade	1	1	1	1	1	1	1
Potência instalada (kW)	0,90	3,87	7,16	2,71	1,59	2,39	2,78
FUC	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
FUT	0,60	0,60	0,60	0,60	0,66	0,66	0,66
Potência média utilizada (kW)	0,41	1,74	3,22	1,22	0,78	1,17	1,37
Horas de funcionamento diárias	10	10	24	10	10	10	10
Dias de funcionamento anual	210	200	365	210	200	200	200

Funcionamento	2100,00	2000,00	8760,00	2100,00	2000,00	2000,00	2000,00
Horas de utilização em ponta	0,00	0,00	3,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Dias de utilização em ponta no mês	206,00	195,00	264,00	206,00	195,00	195,00	195,00
Meses de utilização no ano	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00
Potência média em ponta (kW)	0,00	0,00	3,22	0,00	0,00	0,00	0,00
Fator de coincidência na ponta	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Energia consumida (MWh/ano)	0,85	3,48	28,21	2,56	1,56	2,34	2,73
Demanda média na ponta (kW)	0,00	0,00	3,22	0,00	0,00	0,00	0,00
Condicionamento Ambiental – Ex ante							
	Sist. 119	Sist. 120	Sist.121	Sist. 122	Sist. 123	Sist. 124	Sist. 125
Tipo de Ar condicionado	JANELA	JANELA	SPLIT	SPLIT	SPLIT	SPLIT	SPLIT
Capacidade de refrigeração (BTU/h)	21000	18000	9000	9000	9000	9000	9000
Coeficiente de Performance	2,21	2,25	2,21	2,22	2,28	2,22	2,21
Quantidade	1	1	1	1	1	1	1
Potência instalada (kW)	2,78	2,34	1,19	1,19	1,16	1,19	1,19
FUC	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
FUT	0,66	0,66	0,66	0,66	0,66	0,66	0,66
Potência média utilizada (kW)	1,37	1,15	0,59	0,58	0,57	0,58	0,59
Horas de funcionamento diárias	14	14	10	10	10	10	10
Dias de funcionamento anual	240	240	210	210	210	210	210
Funcionamento	3360,00	3360,00	2100,00	2100,00	2100,00	2100,00	2100,00
Horas de utilização em ponta	1,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Dias de utilização em ponta no mês	222,00	222,00	206,00	206,00	206,00	206,00	206,00
Meses de utilização no ano	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00
Potência média em ponta (kW)	0,38	0,32	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Fator de coincidência na ponta	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Energia consumida (MWh/ano)	4,59	3,87	1,23	1,22	1,19	1,22	1,23
Demanda média na ponta (kW)	0,38	0,32	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Condicionamento Ambiental – Ex ante							
	Sist. 126	Sist. 127	Sist.128	Sist. 129	Sist. 130	Sist. 131	Sist. 132
Tipo de Ar condicionado	SPLIT	JANELA	JANELA	SPLIT			
Capacidade de refrigeração (BTU/h)	9000	21000	21000	12000			
Coeficiente de Performance	2,25	2,21	2,21	2,27			
Quantidade	1	1	1	1			
Potência instalada (kW)	1,17	2,78	2,78	1,55			
FUC	0,75	0,75	0,75	0,75			
FUT	0,66	0,66	0,66	0,66			
Potência média utilizada (kW)	0,58	1,37	1,37	0,76			

Horas de funcionamento diárias	10	10	10	10			
Dias de funcionamento anual	210	210	210	210			
Funcionamento	2100,00	2100,00	2100,00	2100,00			
Horas de utilização em ponta	0,00	0,00	0,00	0,00			
Dias de utilização em ponta no mês	206,00	206,00	206,00	206,00			
Meses de utilização no ano	12,00	12,00	12,00	12,00			
Potência média em ponta (kW)	0,00	0,00	0,00	0,00			
Fator de coincidência na ponta	1,00	1,00	1,00	1,00			
Energia consumida (MWh/ano)	1,21	2,87	2,87	1,60			
Demanda média na ponta (kW)	0,00	0,00	0,00	0,00			

Tabela B2: Resumo dos Cálculos do Sistema de Ar Condicionado depois do retrofit.

Condicionamento Ambiental – <i>Ex ante</i>							
	Total	Sist. 1	Sist. 2	Sist. 3	Sist. 4	Sist. 5	Sist. 6
Tipo de Ar condicionado		SPLIT	SPLIT	SPLIT	SPLIT	SPLIT	SPLIT
Capacidade de refrigeração (BTU/h)		18000	9000	36000	18000	36000	24000
Coefficiente de Performance		3,24	3,24	3,24	3,24	3,24	3,24
Quantidade	144	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Potência instalada (kW)		1,63	0,81	3,25	1,63	3,25	2,17
FUC		0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
FUT		0,695	0,695	0,695	0,695	0,695	0,695
Potência média utilizada (kW)		0,85	0,42	1,70	0,85	1,70	1,13
Horas de funcionamento diárias		10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	24,00
Dias de funcionamento anual		210,00	210,00	210,00	210,00	210,00	365,00
Funcionamento		2100,00	2100,00	2100,00	2100,00	2100,00	8760,00
Horas de utilização em ponta		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,00
Dias de utilização em ponta no mês		206,00	206,00	206,00	206,00	206,00	264,00
Meses de utilização no ano		12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00
Potência média em ponta (kW)		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,13
Fator de coincidência na ponta		1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Energia consumida (MWh/ano)	277,67	1,78	0,89	3,56	1,78	3,56	9,91
Demanda média na ponta (kW)	11,79	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,13
Condicionamento Ambiental – <i>Ex ante</i>							
	Sist. 7	Sist. 8	Sist. 9	Sist. 10	Sist. 11	Sist. 12	Sist. 13
Tipo de Ar condicionado	SPLIT	JANELA	JANELA	JANELA	SPLIT	JANELA	SPLIT
Capacidade de refrigeração (BTU/h)	36000	7500	7500	7500	12000	7500	7500

Coeficiente de Performance	3,24	2,94	2,94	2,94	3,24	2,94	3,24
Quantidade	2,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Potência instalada (kW)	6,51	0,75	0,75	0,75	1,08	0,75	0,68
FUC	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
FUT	0,695	0,695	0,695	0,695	0,695	0,695	0,695
Potência média utilizada (kW)	3,39	0,39	0,39	0,39	0,57	0,39	0,35
Horas de funcionamento diárias	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00
Dias de funcionamento anual	210,00	210,00	210,00	210,00	210,00	210,00	210,00
Funcionamento	2100,00	2100,00	2100,00	2100,00	2100,00	2100,00	2100,00
Horas de utilização em ponta	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Dias de utilização em ponta no mês	206,00	206,00	206,00	206,00	206,00	206,00	206,00
Meses de utilização no ano	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00
Potência média em ponta (kW)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Fator de coincidência na ponta	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Energia consumida (MWh/ano)	7,12	0,82	0,82	0,82	1,19	0,82	0,74
Demanda média na ponta (kW)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Condicionamento Ambiental – <i>Ex ante</i>							
	Sist.14	Sist. 15	Sist. 16	Sist. 17	Sist. 18	Sist. 19	Sist. 20
Tipo de Ar condicionado	JANELA	JANELA	JANELA	JANELA	JANELA	JANELA	SPLIT
Capacidade de refrigeração (BTU/h)	10000	18000	7500	10000	10000	10000	12000
Coeficiente de Performance	3,04	2,89	2,94	3,04	3,04	2,89	3,24
Quantidade	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Potência instalada (kW)	0,96	1,82	0,75	0,96	0,96	1,01	1,08
FUC	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
FUT	0,695	0,695	0,695	0,695	0,695	0,695	0,695
Potência média utilizada (kW)	0,50	0,95	0,39	0,50	0,50	0,53	0,57
Horas de funcionamento diárias	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00
Dias de funcionamento anual	210,00	210,00	210,00	210,00	210,00	210,00	210,00
Funcionamento	2100,00	2100,00	2100,00	2100,00	2100,00	2100,00	2100,00
Horas de utilização em ponta	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Dias de utilização em ponta no mês	206,00	206,00	206,00	206,00	206,00	206,00	206,00
Meses de utilização no ano	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00
Potência média em ponta (kW)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Fator de coincidência na ponta	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Energia consumida (MWh/ano)	1,05	2,00	0,82	1,05	1,05	1,11	1,19
Demanda média na ponta (kW)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Condicionamento Ambiental – <i>Ex ante</i>							
	Sist.21	Sist. 22	Sist. 23	Sist. 24	Sist. 25	Sist. 26	Sist. 27

Tipo de Ar condicionado	JANELA	SPLIT	SPLIT	SPLIT	SPLIT	SPLIT	SPLIT
Capacidade de refrigeração (BTU/h)	10000	18000	24000	24000	24000	24000	24000
Coeficiente de Performance	3,04	3,24	3,24	3,24	3,24	3,24	3,24
Quantidade	1,00	1,00	1,00	1,00	2,00	2,00	1,00
Potência instalada (kW)	0,96	1,63	2,17	2,17	4,34	4,34	2,17
FUC	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
FUT	0,695	0,695	0,695	0,695	0,695	0,695	0,695
Potência média utilizada (kW)	0,50	0,85	1,13	1,13	2,26	2,26	1,13
Horas de funcionamento diárias	10,00	14,00	14,00	14,00	10,00	10,00	14,00
Dias de funcionamento anual	210,00	200,00	200,00	200,00	200,00	200,00	240,00
Funcionamento	2100,00	2800,00	2800,00	2800,00	2000,00	2000,00	3360,00
Horas de utilização em ponta	0,00	1,00	1,00	1,00	0,00	0,00	1,00
Dias de utilização em ponta no mês	206,00	195,00	195,00	195,00	195,00	195,00	222,00
Meses de utilização no ano	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00
Potência média em ponta (kW)	0,00	0,21	0,28	0,28	0,00	0,00	0,32
Fator de coincidência na ponta	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Energia consumida (MWh/ano)	1,05	2,37	3,17	3,17	4,52	4,52	3,80
Demanda média na ponta (kW)	0,00	0,21	0,28	0,28	0,00	0,00	0,32
Condicionamento Ambiental – <i>Ex ante</i>							
	Sist.28	Sist. 29	Sist. 30	Sist. 31	Sist. 32	Sist. 33	Sist. 34
Tipo de Ar condicionado	SPLIT	JANELA	JANELA	SPLIT	SPLIT	SPLIT	SPLIT
Capacidade de refrigeração (BTU/h)	24000	21000	10000	12000	9000	9000	9000
Coeficiente de Performance	3,24	2,89	2,94	3,24	3,24	3,24	3,24
Quantidade	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Potência instalada (kW)	2,17	2,13	1,00	1,08	0,81	0,81	0,81
FUC	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
FUT	0,695	0,695	0,695	0,695	0,695	0,695	0,695
Potência média utilizada (kW)	1,13	1,11	0,52	0,57	0,42	0,42	0,42
Horas de funcionamento diárias	14,00	14,00	14,00	10,00	10,00	10,00	10,00
Dias de funcionamento anual	240,00	240,00	240,00	240,00	240,00	210,00	210,00
Funcionamento	3360,00	3360,00	3360,00	2400,00	2400,00	2100,00	2100,00
Horas de utilização em ponta	1,00	1,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Dias de utilização em ponta no mês	222,00	222,00	222,00	222,00	222,00	206,00	206,00
Meses de utilização no ano	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00
Potência média em ponta (kW)	0,32	0,31	0,15	0,00	0,00	0,00	0,00
Fator de coincidência na ponta	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Energia consumida (MWh/ano)	3,80	3,73	1,74	1,36	1,02	0,89	0,89
Demanda média na ponta (kW)	0,32	0,31	0,15	0,00	0,00	0,00	0,00

Dias de utilização em ponta no mês	206,00	206,00	206,00	206,00	206,00	264,00	206,00
Meses de utilização no ano	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00
Potência média em ponta (kW)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,43	0,00
Fator de coincidência na ponta	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Energia consumida (MWh/ano)	0,83	0,83	0,83	0,83	2,03	3,77	1,07
Demanda média na ponta (kW)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,43	0,00
Condicionamento Ambiental – Ex ante							
	Sist. 77	Sist. 78	Sist.79	Sist. 80	Sist. 81	Sist. 82	Sist. 83
Tipo de Ar condicionado	JANELA	JANELA	JANELA	JANELA	SPLIT	JANELA	JANELA
Capacidade de refrigeração (BTU/h)	10000	10000	10000	10000	12000	10000	10000
Coeficiente de Performance	3,04	3,04	3,04	3,04	3,24	3,04	3,04
Quantidade	1,00	1,00	1,00	1,00	2,00	1,00	1,00
Potência instalada (kW)	0,96	0,96	0,96	0,96	2,17	0,96	0,96
FUC	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
FUT	0,705	0,705	0,705	0,705	0,705	0,705	0,705
Potência média utilizada (kW)	0,51	0,51	0,51	0,51	1,15	0,51	0,51
Horas de funcionamento diárias	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00
Dias de funcionamento anual	210,00	210,00	210,00	210,00	210,00	210,00	210,00
Funcionamento	2100,00	2100,00	2100,00	2100,00	2100,00	2100,00	2100,00
Horas de utilização em ponta	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Dias de utilização em ponta no mês	206,00	206,00	206,00	206,00	206,00	206,00	206,00
Meses de utilização no ano	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00
Potência média em ponta (kW)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Fator de coincidência na ponta	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Energia consumida (MWh/ano)	1,07	1,07	1,07	1,07	2,41	1,07	1,07
Demanda média na ponta (kW)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Condicionamento Ambiental – Ex ante							
	Sist. 84	Sist. 85	Sist.86	Sist. 87	Sist. 88	Sist. 89	Sist. 90
Tipo de Ar condicionado	JANELA	SPLIT	SPLIT	SPLIT	SPLIT	SPLIT	SPLIT
Capacidade de refrigeração (BTU/h)	10000	18000	24000	18000	24000	9000	9000
Coeficiente de Performance	3,04	3,24	3,24	3,24	3,24	3,24	3,24
Quantidade	1,00	2,00	2,00	1,00	2,00	1,00	1,00
Potência instalada (kW)	0,96	3,25	4,34	1,63	4,34	0,81	0,81
FUC	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
FUT	0,705	0,705	0,705	0,705	0,705	0,6555	0,6555
Potência média utilizada (kW)	0,51	1,72	2,29	0,86	2,29	0,40	0,40
Horas de funcionamento diárias	10,00	14,00	10,00	14,00	14,00	14,00	14,00
Dias de funcionamento anual	210,00	200,00	200,00	200,00	200,00	240,00	240,00

Funcionamento	2100,00	2800,00	2000,00	2800,00	2800,00	3360,00	3360,00
Horas de utilização em ponta	0,00	1,00	0,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Dias de utilização em ponta no mês	206,00	195,00	195,00	195,00	195,00	222,00	222,00
Meses de utilização no ano	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00
Potência média em ponta (kW)	0,00	0,42	0,00	0,21	0,56	0,11	0,11
Fator de coincidência na ponta	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Energia consumida (MWh/ano)	1,07	4,82	4,59	2,41	6,42	1,34	1,34
Demanda média na ponta (kW)	0,00	0,42	0,00	0,21	0,56	0,11	0,11
Condicionamento Ambiental – Ex ante							
	Sist. 91	Sist. 92	Sist.93	Sist. 94	Sist. 95	Sist. 96	Sist. 97
Tipo de Ar condicionado	SPLIT	SPLIT	SPLIT	JANELA	JANELA	JANELA	SPLIT
Capacidade de refrigeração (BTU/h)	9000	12000	18000	18000	21000	21000	12000
Coeficiente de Performance	3,24	3,24	3,24	2,89	2,89	2,89	3,24
Quantidade	1,00	1,00	1,00	1,00	2,00	1,00	2,00
Potência instalada (kW)	0,81	1,08	1,63	1,82	4,26	2,13	2,17
FUC	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
FUT	0,6555	0,6555	0,6555	0,6555	0,6555	0,6555	0,6555
Potência média utilizada (kW)	0,40	0,53	0,80	0,90	2,09	1,05	1,07
Horas de funcionamento diárias	14,00	10,00	14,00	10,00	14,00	10,00	14,00
Dias de funcionamento anual	240,00	240,00	240,00	240,00	240,00	240,00	200,00
Funcionamento	3360,00	2400,00	3360,00	2400,00	3360,00	2400,00	2800,00
Horas de utilização em ponta	1,00	0,00	1,00	0,00	1,00	0,00	1,00
Dias de utilização em ponta no mês	222,00	222,00	222,00	222,00	222,00	222,00	195,00
Meses de utilização no ano	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00
Potência média em ponta (kW)	0,11	0,00	0,22	0,00	0,59	0,00	0,26
Fator de coincidência na ponta	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Energia consumida (MWh/ano)	1,34	1,28	2,69	2,15	7,03	2,51	2,99
Demanda média na ponta (kW)	0,11	0,00	0,22	0,00	0,59	0,00	0,26
Condicionamento Ambiental – Ex ante							
	Sist. 98	Sist. 99	Sist.100	Sist. 101	Sist. 102	Sist. 103	Sist. 104
Tipo de Ar condicionado	JANELA	SPLIT	SPLIT	SPLIT	SPLIT	janela	split
Capacidade de refrigeração (BTU/h)	18000	36000	9000	9000	9000	12000	12000
Coeficiente de Performance	2,89	3,24	3,24	3,24	3,24	3,04	3,24
Quantidade	2,00	2,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Potência instalada (kW)	3,65	6,51	0,81	0,81	0,81	1,16	1,08
FUC	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
FUT	0,6555	0,6555	0,6555	0,6555	0,6555	0,6555	0,6555
Potência média utilizada (kW)	1,79	3,20	0,40	0,40	0,40	0,57	0,53

FUT	0,525	0,525	0,525	0,525	0,605	0,605	0,605
Potência média utilizada (kW)	0,32	1,28	2,14	1,28	0,49	0,74	0,97
Horas de funcionamento diárias	10,00	10,00	24,00	10,00	10,00	10,00	10,00
Dias de funcionamento anual	210,00	200,00	365,00	210,00	200,00	200,00	200,00
Funcionamento	2100,00	2000,00	8760,00	2100,00	2000,00	2000,00	2000,00
Horas de utilização em ponta	0,00	0,00	3,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Dias de utilização em ponta no mês	206,00	195,00	264,00	206,00	195,00	195,00	195,00
Meses de utilização no ano	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00
Potência média em ponta (kW)	0,00	0,00	2,14	0,00	0,00	0,00	0,00
Fator de coincidência na ponta	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Energia consumida (MWh/ano)	0,67	2,56	18,71	2,69	0,98	1,48	1,93
Demanda média na ponta (kW)	0,00	0,00	2,14	0,00	0,00	0,00	0,00
Condicionamento Ambiental – Ex ante							
	Sist. 119	Sist. 120	Sist.121	Sist. 122	Sist. 123	Sist. 124	Sist. 125
Tipo de Ar condicionado	JANELA	JANELA	SPLIT	SPLIT	SPLIT	SPLIT	SPLIT
Capacidade de refrigeração (BTU/h)	21000	18000	9000	9000	9000	9000	9000
Coeficiente de Performance	2,89	2,94	3,24	3,24	3,24	3,24	3,24
Quantidade	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Potência instalada (kW)	2,13	1,79	0,81	0,81	0,81	0,81	0,81
FUC	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
FUT	0,605	0,605	0,605	0,605	0,605	0,605	0,605
Potência média utilizada (kW)	0,97	0,81	0,37	0,37	0,37	0,37	0,37
Horas de funcionamento diárias	14,00	14,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00
Dias de funcionamento anual	240,00	240,00	210,00	210,00	210,00	210,00	210,00
Funcionamento	3360,00	3360,00	2100,00	2100,00	2100,00	2100,00	2100,00
Horas de utilização em ponta	1,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Dias de utilização em ponta no mês	222,00	222,00	206,00	206,00	206,00	206,00	206,00
Meses de utilização no ano	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00
Potência média em ponta (kW)	0,27	0,23	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Fator de coincidência na ponta	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Energia consumida (MWh/ano)	3,24	2,73	0,78	0,78	0,78	0,78	0,78
Demanda média na ponta (kW)	0,27	0,23	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Condicionamento Ambiental – Ex ante							
	Sist. 126	Sist. 127	Sist.128	Sist. 129	Sist. 130	Sist. 131	Sist. 132
Tipo de Ar condicionado	SPLIT	JANELA	JANELA	SPLIT			
Capacidade de refrigeração (BTU/h)	9000	21000	21000	12000			
Coeficiente de Performance	3,24	2,89	2,89	3,24			
Quantidade	1,00	1,00	1,00	1,00			

Potência instalada (kW)	0,81	2,13	2,13	1,08			
FUC	0,75	0,75	0,75	0,75			
FUT	0,605	0,605	0,605	0,605			
Potência média utilizada (kW)	0,37	0,97	0,97	0,49			
Horas de funcionamento diárias	10,00	10,00	10,00	10,00			
Dias de funcionamento anual	210,00	210,00	210,00	210,00			
Funcionamento	2100,00	2100,00	2100,00	2100,00			
Horas de utilização em ponta	0,00	0,00	0,00	0,00			
Dias de utilização em ponta no mês	206,00	206,00	206,00	206,00			
Meses de utilização no ano	12,00	12,00	12,00	12,00			
Potência média em ponta (kW)	0,00	0,00	0,00	0,00			
Fator de coincidência na ponta	1,00	1,00	1,00	1,00			
Energia consumida (MWh/ano)	0,78	2,03	2,03	1,03			
Demanda média na ponta (kW)	0,00	0,00	0,00	0,00			

As tabelas apresentam os parâmetros definidos para realização dos cálculos de energia consumida e potência requerida pelo sistema antes e após o retrofit do ar condicionado. Todos os cálculos seguiram a metodologia apresentada neste trabalho de conclusão de curso e a estimativa de horas embasou-se no cronograma de utilização dos ambientes. Vale ressaltar que no distrito federal o horário de ponta definido pela distribuidora local (CEB-D) começa às 18h e termina às 21h de modo que para definir o número de horas de utilização em ponta considerou-se o número de horas que o ambiente permanecia ocupado do período de ponta.

A divisão de ares para cada macro bloco pode ser vista da tabela abaixo:

Tabela B3: Divisão de ares por macro bloco.

Ambiente	Ares condicionados
FT1	Sistema 1 ao 41
FT2	Sistema 42 ao 68
FT3	Sistema 69 ao 88
FT4	Sistema 89 ao 106
FT5	Sistema 107 ao 111
FT6	Sistema 112 ao 115
FT7	Sistema 116 ao 129

Apêndice C: Plano de M&V

A estratégia de medição e verificação dos resultados será baseada nas orientações da EVO (Efficiency Evaluation Organization), constantes no volume 1 do PIMVP (Protocolo Internacional de Medição e Verificação), EVO 10000-1:2012. O PIMVP é um instrumento para avaliar de forma transparente, segura consistente e reproduzível a economia obtida por um projeto de eficiência energética. Além disso, foram levadas em consideração as orientações constantes no GUIA de M&V da ANEEL (também baseados no PIMVP), a fim de adequar o projeto à realidade de consumo de energia do Brasil e assim seguiu-se o modelo de plano de M&V apresentado no GUIA da ANEEL.

Este plano de medição e verificação abordará o estudo de caso da Faculdade de Tecnologia englobando as ações de eficiência energética de retrofit do sistema de iluminação e do sistema de condicionamento ambiental.

Vale ressaltar que este plano é um exemplo deste tipo de documento para demonstrar sua confecção e abordará as duas ações de eficiência energética (Retrofit da iluminação e Retrofit do sistema de condicionamento ambiental). Em um caso real, é exigido que seja confeccionado um plano de M&V para cada ação realizada, porém como muitas das partes são semelhantes foi confeccionado apenas um para as duas ações a título de prova de conceito, além disso, o documento foi realizado tendo como base o método D que é o foco deste trabalho.

1. Descrição do Projeto

O projeto de eficiência energética realizado na Universidade de Brasília de modo a promover o aumento da eficiência energética de alguns de seus edifícios. A tabela a seguir apresenta os principais dados do projeto:

Tabela C1: Identificação do Projeto

Nome do Projeto	Projeto de Eficiência Energética Universidade de Brasília.
Local	Universidade de Brasília- Faculdade de Tecnologia.
Endereço	Campus Universitário Darcy Ribeiro, s/n - Asa Norte, Brasília – DF.
Responsável	Nome do Responsável Técnico
Telefone	Telefone do Responsável Técnico
E-mail	E-mail do Responsável Técnico

1.1 Objetivos das AEE's

1.1.1 Descrição da AEE 01: Retrofit do Sistemas de Iluminação

Os sistemas de iluminação são responsáveis por grande parte do consumo de residências, comércios e indústrias e dessa forma necessitam de uma análise específica. A AEE 01 consiste na substituição de lâmpadas fluorescentes por lâmpadas LED equivalentes segundo apresentado na tabela abaixo:

Tabela C2: Substituição da Iluminação.

Modelo Atual	Modelo Novo	Quantidade
Lâmpada Fluorescente Tubular 32 W	Lâmpada LED Tubular 18 W	2900
Lâmpada Fluorescente Tubular 20 W	Lâmpada LED Tubular 9 W	70

Além da observação da economia de energia, pode-se ainda elencar como objetivos desta ação de Medição e Verificação, facilitar a compreensão das medidas de efficientização objetos das AEE's, bem como aumentar a credibilidade do relatório de diagnóstico energético.

1.1.2 Descrição da AEE 02: Retrofit do Sistema de Condicionamento Ambiental.

A AEE 02 consiste na substituição dos equipamentos de ar condicionado que apresentem selo do PROCEL inferior a categoria B por modelos novos que sejam selo A conforme apresentado na tabela abaixo:

Tabela C3: Substituição dos Ares condicionados.

Modelo Atual	Modelo Novo	Quantidade
Ar Condicionado Split HW 7000 BTU	Split HW 9000 BTU	8
Ar Condicionado Split HW 9000 BTU	Split HW 9000 BTU	15
Ar Condicionado Split HW 10000 BTU	Split HW 9000 BTU	1
Ar Condicionado Split HW 12000 BTU	Split HW 12000 BTU	17
Ar Condicionado Split HW 18000 BTU	Split HW 18000 BTU	9
Ar Condicionado Split HW 21000 BTU	Split HW 24000 BTU	3

Ar Condicionado Split HW 22000 BTU	Split HW 24000 BTU	1
Ar Condicionado Split HW 24000 BTU	Split HW 24000 BTU	8
Ar Condicionado Split PT 30000 BTU	Split PT 30000 BTU	5
Ar Condicionado Split PT 36000 BTU	Split PT 36000 BTU	5
Ar Condicionado Split PT 60000 BTU	Split PT 60000 BTU	1
Ar condicionado janela 7000 BTU	Janela 7500 BTU	4
Ar condicionado janela 7500 BTU	Janela 7500 BTU	11
Ar condicionado janela 10000 BTU	Janela 10000 BTU	25
Ar condicionado janela 12000 BTU	Janela 10000 BTU	2
Ar condicionado janela 12500 BTU	Janela 10000 BTU	1
Ar condicionado janela 18000 BTU	Janela 18000 BTU	8
Ar condicionado janela 21000 BTU	Janela 21000 BTU	15
Ar condicionado janela 30000 BTU	Janela 21000 BTU	2

1.2 Resultados Pretendidos

Através das substituições propostas, espera-se uma redução significativa no consumo de energia e demanda na unidade consumidora em questão. As projeções de economia que serão obtidas podem ser encontradas na seção 6 de resultados deste trabalho.

De modo a tornar o trabalho mais fluído a tabela abaixo apresenta um resumo dos resultados esperados, porém todos podem ser vistos em detalhes na seção 6.

Tabela C4: Resumo dos resultados esperados com as AEE's.

Resultados Esperados		
	Iluminação	Condicionamento Ambiental
Redução de demanda em ponta (RDP) (kW)	8,93	4,9
Porcentagem de RDP	50,93%	29,35%
Energia economizada (EE) (MWh/ano)	111,70	103,58
Porcentagem de EE	50,24%	27,17%

1.3 Verificação Operacional

A verificação operacional será executada através do monitoramento do número de horas de funcionamento de cada sistema e da potência de cada equipamento de modo a conferir se as estimativas e cálculos realizados nas simulações condizem com o que é observado nos sistemas reais. Tais medições utilizarão analisadores de energia previamente calibrados medir a potência e horímetros para medir o número de horas de funcionamento.

1.4 Alterações Planejadas

Durante o período de execução do projeto não espera-se alterações nas cargas do edifício em seu padrão de utilização de modo que não deve ocorrer alteração nas características identificadas. Porém será monitorada a utilização do edifício visando mapear qualquer alteração futura e ajustar os modelos utilizados caso necessário.

1.5 Opção do PIMVP e fronteira de medição

As escolhas e opções apresentadas a seguir, tais como a opção do PIMVP, fronteira de medições da determinação da economia e os efeitos interativos possíveis que possam vir a ser descritos, seguem as orientações do volume 1 do PIMVP, EVO 10000-1:2012.

1.6 Variáveis independentes:

A variável independente para os sistemas de iluminação consiste em:

- Tempo de leitura de cada período de medição;

A variável independente para o sistema de condicionamento ambiental consiste em:

- Temperatura atmosférica para o local do projeto.

Tais variáveis devem ser validadas através de regressões lineares correlacionando sua variação com a variação do consumo de energia seguindo os critérios de R^2 (Coeficiente de Determinação) maior que 0,75, CV(EMQ) (Coeficiente de Variação) menor que 5% e estatísticas t maior que 2 segundo os critérios do GUIA de M&V da ANEEL.

1.7 Fronteira de medição:

As AEE's aplicadas às unidades consumidoras serão referentes aos usos finais:

- Sistemas de Iluminação;
- Sistema de Condicionamento Ambiental.

Com o objetivo de gerir e medir as economias nos equipamentos por uso final em questão, as fronteiras de medição serão estabelecidas em torno destes sistemas. Dessa forma, a fronteira de medição será o conjunto dos circuitos de alimentação dos sistemas supracitados, pelo lado da energia e simulados em seus respectivos softwares.

1.8 Efeitos Interativos com o Exterior da Fronteira

Os efeitos interativos resultantes da alteração da temperatura interna devido a substituição do sistema de iluminação serão desconsiderados neste plano de M&V.

1.9 Fatores Estáticos no Interior da Fronteira

Os fatores estáticos a serem levados em consideração neste plano de medição e verificação serão as normas referentes aos critérios de iluminação, presentes na NBR 5413/92, bem como o número de luminárias e ambientes analisados.

Também serão consideradas as normas vigentes para condicionamento ambiental, como por exemplo, na ABNT NBR 16401:2008 e outras. Além disso, o número de aparelhos, os ambientes analisados e sua ocupação serão tratados como fatores estáticos.

1.10 Opção do PIMVP

Para as AEE's observadas neste plano de medição e verificação, será levado em consideração o desempenho energético dos sistemas afetados, sendo que os efeitos interativos em outros equipamentos da instalação poderão ser desconsiderados. A fim de alcançar critérios de viabilidade econômica, a determinação da economia será feita a curto prazo, no âmbito de cada projeto, e os resultados da economia observada serão posteriormente extrapolados através de estudos específicos de engenharia e pelas análises desenvolvidas através dos softwares utilizados.

Para o caso da AEE direcionada ao sistema de iluminação será aplicado a Opção de M&V D utilizando o software Designer Builder® na versão V6 1.2.004 para tal. Nele será simulado o sistema de iluminação antes e após o projeto visando calcular seu impacto.

Quanto a AEE direcionada ao sistema de condicionamento ambiental também será aplicado a Opção D utilizando o software Design Builder® na versão V6 1.2.004. Será simulado o sistema atual e o sistema após o retrofit dos equipamentos visando calcular os ganhos obtidos com o projeto.

1.11 Períodos, Energia e Condições da Linha de Base.

Para medir e verificar os resultados e o impacto de uma ação de eficiência energética é necessário definir os parâmetros principais de medição, como o período de linha de base (padrão de consumo antes da implementação da AEE), as condições de ajuste que se justifiquem, bem como o período de determinação da energia, que definirá de fato a economia de energia. A diferença entre as duas linhas representa a economia conquistada com a racionalização do uso de energia elétrica. Todas as estimativas de consumo real obtidas antes da implementação da AEE são consideradas antes do retrofit, enquanto as reduções conquistadas com o projeto de eficiência energética são denominadas depois do retrofit.

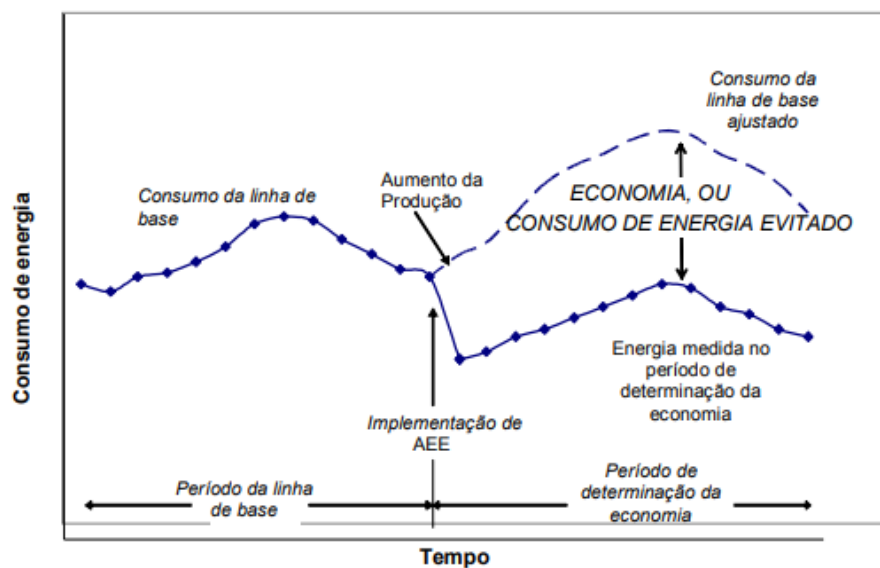


Figura C1: Exemplo de histórico de energia. Fonte (EVO, 2012)

1.11.1 Período da Linha de Base

A linha de base para as AEE's nos sistemas de iluminação e condicionamento ambiental será estabelecida segundo as orientações do PIMVP, e constantes neste plano de medição e verificação.

O período de linha de base deve representar o padrão de consumo médio da unidade consumidora em questão, de acordo com suas atividades normais. Como a potência consumida pelo sistema de iluminação é relativamente constante dependendo apenas da ocupação dos ambientes para existir, foi definido o período de linha de base desta AEE como sendo a simulação de um dia de uso do edifício.

No caso do sistema de condicionamento ambiental, há influência direta da temperatura diária na utilização dos equipamentos de modo que será realizada a simulação para uma semana de visando analisar o padrão de consumo do sistema

A partir destas análises é possível caracterizar o consumo de cada um dos sistemas e extrapolar as medidas de modo a estimar a economia obtida com as ações para outros períodos de tempo.

1.11.2 Energia e Condições da Linha de Base

Podem ser elencados fatores de ajuste não de rotina que possam alterar a linha de base, de acordo com as orientações do PIMVP, tais quais: instalações de novos aparelhos, expansão no tamanho das instalações da unidade consumidora, adequação de normas para controle da iluminação e condicionamento ambiental, dentre outros. As adequações, caso venham a ser necessárias, determinarão o modelo a ser seguido, sejam elas o de economia de consumo de energia evitada ou mesmo o de economia normalizada.

A economia de energia obtida em cada sistema é regida pela equação geral 01 apresentada neste relatório e ajustada para a Opção D que foi escolhida para o processo de M&V.

$$\begin{aligned} \text{Economia} = & \text{Energia obtida com o modelo calibrado para a linha de base} \\ & - \text{Energia obtida com o modelo calibrado para a determinação} \\ & \text{da economia.} \end{aligned}$$

Caso haja alteração no número de equipamentos, variação do número de horas funcionamento ou qualquer outra mudança no padrão de utilização dos ambientes é adicionado um termo de ajustes na equação acima. Tais ajustes devem ser explicados detalhadamente e seu impacto na economia calculado de modo a manter a confiabilidade e manter os resultados reprodutíveis.

A partir das medições e estimativas será determinado o fator de coincidência de ponta (FCP) para cada sistema e através da equação a seguir é calculado a redução da demanda em ponta (RDP).

$$\begin{aligned} RDP = & FCP . (\text{Potência obtida com o modelo calibrado para a linha de base} \\ & - \text{Potência obtida com o modelo calibrado para a determinação} \\ & \text{da economia.}) \end{aligned}$$

Geralmente, para o caso do sistema de condicionamento ambiental é utilizado a opção B tal como apresentada no capítulo de estudo de caso deste trabalho. Em seguida o consumo médio ajustado do período da linha de base é calculado através de um modelo matemático de engenharia que correlacionará o consumo de acordo com as variáveis independentes que se apliquem, neste caso a temperatura externa.

Após a obtenção dos valores de consumo e das condições fixas de temperatura, o modelo resultará em uma equação linear (Obtida através de uma regressão linear) que correlacione o consumo de energia com a temperatura ambiente em graus dia de refrigeração (GDR). Os dados são extrapolados e assim obtêm-se o consumo de energia.

Como optou-se pela opção D, este processo não será realizado, já que é possível carregar os dados climáticos no próprio software e ele realizar tais modelamentos segundo os parâmetros definidos pelo usuário.

1.11.3 Período de Determinação da Economia

O período de determinação da economia será iniciado logo após as implementações das ações de eficiência energética e deve ser equivalente aos ciclos de funcionamento dos sistemas de iluminação e de condicionamento ambiental.

Dessa forma, o período de determinação da economia apresenta um intervalo de tempo equivalente ao período de determinação da linha de base e assim as simulações são executadas no mesmo intervalo de tempo.

1.11.4 Base de Ajuste

A base de ajuste para o sistema iluminação será a adequação do sistema a entrada de novos equipamentos e mudanças de padrão de utilização, além disso, a base de ajuste será adequada aos padrões e normas de iluminação vigentes no período de realização do estudo.

O mesmo será realizado para o sistema de condicionamento ambiental seguindo as normas e padrões de qualidade definidos para a área.

1.12 Procedimento de Análise.

O procedimento de análise do processo de medição e verificação terá início desde o levantamento de dados à finalização e conclusão do projeto, através das seguintes etapas:

- Levantamento de dados;
- Verificação operacional;

- Identificação de Parâmetros-Base (Variáveis independentes, Períodos de medição, Fronteiras de medição, entre outros);
- Calibração dos *softwares* de simulação, segundo instruções e orientações do PIMVP e Guia ANEEL;
- Realização das simulações e análise dos resultados;
- Execução de Ciclo PDCA para verificação do projeto;
- Finalização.

Os procedimentos de análise para o sistema de iluminação consistem basicamente no levantamento do número de luminárias para cada sistema individual, suas respectivas potências em Watt (W), o número de horas de utilização (h) para os casos em que este parâmetro será estimado, ou mesmo o seu consumo em Quilowatt hora (kWh), obtidos mediante a multiplicação dos dados, ou aferição de instrumento analisador de energia.

Quanto ao sistema de condicionamento ambiental, será medida a curva de potência do aparelho e o número de horas efetivas de funcionamento do mesmo de modo a calcular o consumo de energia do equipamento.

De posse destas medidas, é possível calibrar a simulação computacional e assim obter um modelo que represente o funcionamento do edifício para estas condições. Além disso, é possível obter modelos matemáticos para extrapolação dos dados. Os modelos matemáticos de aproximação serão elaborados segundo regressões lineares e equações de reta para representação matemática durante a fase de calibração dos softwares.

1.12.1 Preços da Energia

Os preços de energia valorarão as economias obtidas, segundo os critérios apresentados no PROPEE, em seu módulo 7 (ANEEL, 2012). Os cálculos serão mostrados segundo o ponto de vista da economia pelo setor elétrico, em demanda e consumo evitados, bem como do ponto de vista do consumidor, a fim de elencar os benefícios auferidos pelo programa.

Os preços serão baseados segundo a estrutura tarifária da distribuidora CEB-D, incluindo-se os elementos afetados por quantidades medidas como consumo, demanda, fator de potência, demanda a faturar, e possíveis ajustes necessários.

Todas as análises utilizaram os valores e coeficientes definidos para o programa de eficiência energética de 2019 da distribuidora CEB-D para precificar a economia de energia obtida com os projetos.

1.12.2 Especificação das Medições

Os medidores utilizados serão instalados nos pontos de medição determinados de acordo com estudo prévio. As especificações dos modelos utilizados serão apresentadas de acordo com sua respectiva medição, indicando o tipo de medidor, fabricante, modelo, precisão, dados de calibragem, verificação operacional utilizada, entre outros. As informações serão descritas como a seguir.

Tabela C5: Exemplo de informação de Medição.

Medição de energia 01	Ponto de medição 01 - FT		
Medidores	Fabricante Modelo/Série	Minipa R300A	
Última calibração	Data Validade % VM	02/06/2016 02/06/2017 “X” DMS	Valor DMS
Precisão do medidor	“X”%	“X”	“X.XX”
Erro Padrão Incerteza		“X.X” “X.XX”	kWh/dia kWh/dia

Vale ressaltar que as medições realizadas, neste caso, não visam seguir uma opção de medição e verificação e sim visam coletar os dados para calibração da simulação computacional.

1.12.3 Precisão Esperada

Cada etapa do processo de obtenção de dados (Amostragem, modelagem e medição) deverá perseguir uma meta “95/10”, ou seja, 10% de precisão a 95% de confiabilidade. Deverá ser apurado o reflexo de todos os erros no cálculo da economia.

1.12.4 Orçamento de M&V

Nesta seção deve-se apresentar os custos relacionados ao processo de M&V de modo a precificar o serviço. No caso deste plano, não será apresentado valores já que ele possui caráter apenas didático.

1.12.5 Formato do Relatório de M&V

O relatório de medição e verificação seguirá o formato orientado pelo PIMVP e constante nos documentos base fornecidos pela Agência Nacional de Energia Elétrica. Abordará os seguintes aspectos:

- Os dados observados durante o período de determinação da economia: os momentos de início e fim do período de medição, os dados de energia e o valor das variáveis independentes;
- Descrição e justificativa de quaisquer correções feitas aos dados observados;
- Os valores estimados acordados;
- Tabela de preços da energia utilizada;
- Todos os pormenores de qualquer ajuste não periódico da linha de base efetuado. Os pormenores devem incluir uma explicação da alteração das condições desde o período da linha de base, todos os fatos observados e suposições e os cálculos de engenharia que levaram ao ajuste;
- A economia calculada em unidades de energia e monetárias.

Além disso, o relatório deve ser escrito de forma simples, clara e objetiva a fim de abordar todos os níveis de entendimento de seus leitores.

Vale ressaltar que o relatório de M&V do projeto de eficiência energética da faculdade de tecnologia está apresentado no decorrer do trabalho de conclusão de curso sendo a metodologia responsável por apresentar como as simulações foram executadas e os dados para sua calibração medidos. Além disso, a sessão de resultados tem a função de apresentar a economia obtida.

1.12.6 Garantia de Qualidade

Todas as medições devem ser verificadas antes de cada análise, após a instalação dos respectivos equipamentos, avaliando-se a coerência dos dados obtidos. Em seguida, eles são usados para calibração do software e realização das simulações que devem ser analisadas de modo a avaliar a coerência dos dados obtidos.

Entre todas as atividades de medição, e em todas as suas etapas, devem ser realizados repetitivamente procedimentos de PDCA (Plan, DO, Check e Act) para melhoria contínua do processo de medição e verificação.